



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



**Facultad de Ingeniería Mecánica y
TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

**“DISEÑO DE UNA AEROBOMBA PARA RIEGO
TECNIFICADO, CON ENERGÍA EÓLICA PARA
EL SEMBRÍO DE PAPAYA EN LA LOCALIDAD
DE ACERILLO – BAGUA – AMAZONAS”.**

**PRESENTADO POR:
BACH. SANDOVAL CHERO, JOSÉ DAVID**

**ASESOR
Mag. NORMAN OSWALDO AGUIRRE ZAQUINAULA**

**LAMBAYEQUE – PERU
2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

**“DISEÑO DE UNA AEROBOMBA PARA RIEGO
TECNIFICADO, CON ENERGÍA EÓLICA PARA EL
SEMBRÍO DE PAPAYA EN LA LOCALIDAD DE
ACERILLO – BAGUA – AMAZONAS”**

PRESENTADO POR:

BACH. SANDOVAL CHERO, JOSÉ DAVID

APROBADO POR EL JURADO EXAMINADOR:

PRESIDENTE : Mag. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES

SECRETARIO : DR. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

MIEMBRO : DR. JORGE LUIS NOMBERRA TEMOCHE

ASESOR : Mag. NORMAN OSWALDO AGUIRRE ZAQUINAULA

**LAMBAYEQUE – PERU
2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería

TESIS

“DISEÑO DE UNA AEROBOMBA PARA RIEGO TECNIFICADO, CON ENERGÍA EÓLICA PARA EL SEMBRÍO DE PAPAYA EN LA LOCALIDAD DE ACERILLO – BAGUA – AMAZONAS”.

CONTENIDOS:

CAPITULO I	: PROBLEMA DE INVESTIGACION
CAPITULO II	: MARCO TEORICO
CAPITULO III	: MARCO METOLOGICO
CAPITULO IV	: PROPUESTA DE INVESTIGACION
CAPITULO V	: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS
CAPITULO VI	: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AUTOR : Bach. SANDOVAL CHERO, JOSÉ DAVID

ASESOR : Mag. NORMAN OSWALDO AGUIRRE ZAQUINAULA

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

**LAMBAYEQUE – PERU
2018**

DEDICATORIA

A mis padres Jose y Juana, Por todo el apoyo incondicional, siendo actores principales para el desarrollo en esta carrera, brindándome su confianza, amor y compromiso, porque sin ellos no hubieran sido posible, el desarrollo de mi vida profesional, gracias totales.

A mi señora Sofia, mis hijos Nicolas y Karen, siendo ellos mi motor y motivo para poder seguir adelante.

A mis hermanos Hugo, Raúl, Dalia y Kari, por su apoyo incondicional a la culminación de esta carrera y compartir momentos difíciles y felices.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, por regalarme cada día de mi vida, por permitirme cumplir con esta meta profesional, por cubrirme con su santo manto y protegerme, derramar su sabiduría en los momentos buenos y fortaleza en momentos difíciles.

Por darles vida, cada día a mis padres, como ejemplos a seguir por su dedicación y esfuerzo que hicieron por mí, enseñándome valores para ser cada día mejor persona. Gracias ellos por confiar y creer en mí, Gracias a mi madre JUANITA por su perseverancia y apoyo de convertirme un profesional, un ser incomparable de afrontar las múltiples necesidades familiares, pero he aquí el fruto de un trabajo en conjunto familiar.

Quiero dar Gracias a mis hermanos, familiares y amigos, de tenderme su mano en momentos difíciles y cuando más lo necesitaba, y brindarme ese aliento de triunfo a poder egresar de esta alma mater.

A mi asesor Mag. NORMAN OSWALDO AGUIRRE ZAQUINAULA, por brindarme esa confianza, valiosa guía y asesoramiento del mismo.

Gracias a todas las personas que brindaron su apoyo en la realización de este proyecto.

RESUMEN

El presente trabajo de Tesis es elaborado, en cumplimiento a la normatividad establecida por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, para la obtención del título Profesional de Ingeniero Mecánico-Electricista, nos hemos propuestos para tal fin desarrollar El diseño de una AEOROBOMBA, para aprovechar la energía eólica a fin de dotar de agua para regadío, parte de las tierras de cultivo del caserío de Acerillo, distrito de Bagua, Provincia de Bagua, Departamento de Amazonas.

El proyecto integral abarca lo que es diseño de una AEROBOMBA, diseño mecánico para el bombeo de agua del río Utcubamba al almacenamiento de un tanque de acero de capacidad de 20 m³, en la parte más alta y de esta manera poder regar sembríos de cultivo papaya.

Actualmente existe la necesidad de poder regar 10 hc de papaya en dicho sector, comuneros de la zona. Lo que hemos visto la capacidad de dar solución a dicho problema. La energía eólica, materia de este proyecto es el estudio socio económico y demostrar la rentabilidad, para esto hemos empezado realizando un estudio de la fuerza que nos podría brindar el aire y sus características, bajo mediciones manuales y automáticas, que capacidad de bombear agua, el tipo de riego, la demanda de caudal requerido, actualmente contamos con una fuente hidrológica inagotable como lo demuestra el Río Utcubamba, en la parte Inferior del área de proyecto, el diseño de la AEROBOMBA, su rentabilidad en el tiempo con respecto a otras fuentes de energía, así como su mantenimiento preventivo y correctivo.

Palabras claves: Aire, Aero bomba, diseño mecánico y rentabilidad.

ABSTRACT

The present work of Thesis is developed, in compliance with the regulations established by the National University Pedro Ruiz Gallo, to obtain the Professional Diploma of Mechanical-Electric Engineer, we have proposed to develop the design of an AEOROBOMBA, to take advantage of wind energy in order to provide water for irrigation, part of the farmland of the village of Acerillo, Bagua district, Bagua Province, Department of Amazonas.

The integral project covers what is the design of an AEROBOMBA, mechanical design for the pumping of water from the Utcubamba river to the storage of a steel tank with a capacity of 20 m³, in the highest part and in this way to irrigate papaya crops .

Currently there is a need to be able to irrigate 10 hc of papaya in this sector, commoners of the area. What we have seen the ability to solve this problema, Wind energy, the subject of this project is socio-economic study and demonstrate profitability, for this we have started by conducting a study of the strength that could provide us with the air and its characteristics, under manual and automatic measurements, which capacity to pump water, the type of irrigation, the required flow demand, we currently have an inexhaustible hydrological source as evidenced by the Utcubamba River, in the lower part of the project area, the design of the AEROBOMBA, its profitability over time with respect to other sources of energy, as well as its preventive and corrective maintenance.

Keywords: Air, Aero pump, mechanical design and cost effectiveness

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
INTRODUCCION	XV
CAPITULO I.	1
PROBLEMA DE INVESTIGACION	1
1.1.- REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2.- FORMACION DEL PROBLEMA	1
1.3.- DELIMITACION DE LA INVESTIGACION	2
1.4.- JUSTIFICACION E IMPORTANCIA	2
1.5.- LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION	2
1.6.- OBJETIVOS	2
1.6.1.- Objetivo general	2
1.6.2.- Objetivo específico	2
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1.- ANTECEDENTES	4
2.2.- GENERALIDADES	4
2.2.1.-La energía eólica	4
2.2.2.-Circulación del viento	5
2.2.2.1. Circulación planetaria	5
2.2.2.2.-Circulación a pequeña escala	7
2.2.2.3.-Escala de viento	8
2.2.2.4.-Variación horizontal	8
2.2.2.5.-Vientos de escala macro	9
2.2.2.6.-Vientos de escala media	9
2.2.2.7.-Vientos de escala micro	10
2.2.2.8.-Variación del viento con la altura	10
2.2.2.9.-Métodos para medir la velocidad del viento.....	12
2.2.3.- Determinación de la potencia del viento	15
2.2.4.- Representación estadística del viento	16
2.2.5.- Tecnología eólica	16
2.2.6.- Equipos eólicos de eje horizontal	17
2.2.7.- Equipos eólicos de eje vertical	17
2.2.8.- Principio básico de los sistemas de bombeo.....	19
2.2.9.- Funcionamientos del molino de viento	19
2.2.10.- Características generales del clima en el Perú.....	20
2.2.10.1.-Características generales del clima en la provincia de Bagua.	20
2.2.11.- Factores que controlan las condiciones climáticas.....	21
2.2.12.- Variables principales del clima	22

2.2.13.- El viento	22
2.1.13.1.- Características	22
2.2.14.- Energía	23
2.1.14.1.- Energía eólica	23
2.1.14.2.- Forma de aprovechamiento de la energía eólica.....	23
2.2.15.- Principio de funcionamiento	24
2.1.15.1.- Bombeo eólico	24
2.2.16.- Aerobomba	26
2.2.16.1.- Funcionamiento de la Aerobomba	27
2.2.16.2.- Sistemas de bombeo eólico	28
2.2.16.3.- Molino de viento multipala tradicional.....	28
2.2.16.4.- Aerobombas de segunda generación.....	29
2.2.16.5.- Aerobombas de manufactura informal.....	31
2.2.16.6.- Aerobombas no convencionales	32
2.2.16.7.- Sistema avanzado de bombeo eólico-eléctrico.....	33
2.2.17.-Elementos de un sistema de aerobombeo.....	35
2.2.17.1.- El rotor eólico	35
2.2.17.2.- Sistema de Transmisión	36
2.2.17.3.- Mecanismo de orientación o veleta	36
2.2.17.4.- Palas (aspas) del Rotor	37
2.2.17.5.- Estructura de Soporte	37
2.2.17.6.- Ventajas de las aerobombas	37
2.2.17.7.- Características técnicas de las Aerobombas.....	37
2.2.17.8.- Parámetros generales de diseño	38
2.2.18.- Aplicaciones de Aerobombas	38
2.2.19.- Bombas	38
2.2.19.1.- Selección de una bomba hidráulica	39
2.2.19.2.- Clasificación de las bombas hidráulicas.....	39
2.2.19.3.- Clasificación de las bombas de pistón.....	41
2.2.19.4.- Aplicaciones de la Bomba de Pistón.....	41
2.2.19.5.- Selección de bombas	41
2.2.19.6.- Características de las bombas	41
2.2.19.7.- Pérdidas	42
2.2.19.8.- Potencia	42
2.2.19.9.- Rendimiento de la bomba	42
2.2.19.10.- Rendimiento volumétrico	43
2.2.20.- Selección de la Aero bomba	44
 CAPÍTULO III.	 46
MARCO METODOLOGICO	46
3.1.- TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACION	46
3.2.- POBLACION Y MUESTRA	46

3.3.- FORMULACION DE HIPOTESIS	47
3.4.- VARIABLES OPERACIONALES	48
3.4.1.- Indicadores estadísticos	48
3.4.1.1.- Mediana	48
3.4.1.2.- Desviación estándar	49
3.4.1.3.- Rango intercuartílico (IQR)	49
3.4.1.4.- Sesgo	49
3.4.1.5.- Curtosis	50
3.4.1.6.- Curtosis Robusta	50
3.5.- METODOS Y TECNICAS DE INVESTIGACION.....	51
3.5.1.- Métodos de cálculo del parámetro de forma y de escala.....	53
3.6.- DESCRIPCION DEL INSTRUMENTO UTILIZADO.....	56
3.6.1.- Coeficiente de Correlación	56
3.7.- ANALISIS ESTADISTICO E INTERPRETACION DE LOS DATOS...	58
3.7.1.- Resultados de los estadísticos	63
3.7.2.- Representación de los indicadores estadísticos.....	65
 CAPÍTULO IV.	82
PROPUESTA DE INVESTIGACION	82
4.1.- PROPUESTA DE ESTUDIO	82
4.1.1 Estudio de un método de riego eficiente	82
4.1.2 Evaluación de prospección eólica	89
4.2.- DESCRIPCION DEL SISTEMA PROPUESTO.....	92
4.2.1 Datos informativos	92
4.2.2 Antecedentes de diseño	92
4.2.3 Justificación	93
4.2.4 Análisis de factibilidad	93
4.2.5 Fundamentación del diseño	93
4.2.6 Determinación del potencial eólico.	95
4.2.6.1. Fuerzas que actúan sobre el perfil.....	106
4.2.6.2. Fuerzas sobre el perfil en movimiento.....	109
4.2.7. Dimensionamiento del sistema hidráulico.....	111
4.2.7.1. Pérdidas	117
4.2.7.2. Pérdidas de carga regulares	119
4.2.7.3. Pérdidas de cargas singulares o localizadas.....	122
4.2.8. Dimensionamiento del sistema de transmisión.....	124
4.2.9. Sistema de transmisión. Biela ó varilla de transmisión.....	128
4.2.10. Cavitación	137
4.2.11. Golpe de ariete	138
4.2.12. Dimensionamiento mecánico del eje del rotor.....	138
4.2.13. Selección de rodamientos	148
4.2.14. Chaveta	151
4.2.15. Tornamesa	153

4.2.15.1 Soporte vertical o columna armada.....	158
4.2.15.2. Soporte vertical o columna armada.....	162
4.2.15.3 Cartela o platina para veleta	164
4.2.15.4. Eje de Tornamesa	165
4.2.15.5. Soldadura – conexión	169
4.2.15.6. Conjunto veleta – placa guía	171
4.3. OBRA CIVIL	177
4.4. ANÁLISIS DE LA TORRE ESTRUCTURAL	178
 CAPÍTULO V.	 182
ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.....	182
5.1 RESULTADOS EN TABLAS – ANÁLISIS DE COSTOS.....	185
5.1.1. Costo total de construcción del sistema de bombeo eólico.....	185
5.1.2. TMAR	185
5.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS - VAN Y DEL TIR.....	188
 CAPITULO VI.	 189
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	189
6.1. CONCLUSIONES	189
6.2. RECOMENDACIONES	189
6.3.MANUAL DE INSTALACIÓN	205
6.4.MANUAL DE MANTENIMIENTO	204
 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	 206
ANEXOS	207

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Valores del exponente de Hellmann en función rugosidad terreno	11
Tabla 2.2. Escala de Beaufort para la intensidad de viento	13
Tabla 2.3. Escala Beaufort para la medición cualitativa de la velocidad	22
Tabla 3.1. Conversión de la Escala de Beaufort a m/s y km/h	58
Tabla 3.2. Toma de datos	60
Tabla 3.3. Media de los valores de los indicadores de todas las Estaciones	63
Tabla 3.4. Valor mínimo y máximo de cada indicador a 10 m de altura	64
Tabla 3.5. Media de los valores de los parámetros de todas las estaciones	74
Tabla 3.6. Valor mínimo y máximo de cada parámetro a 80 m de altura	74
Tabla 3.7. Densidad del aire a 10°C, 15°C y 20°C	78
Tabla 3.8. Densidad de Potencia eólica a 80 m en W/m ² , DW	78
Tabla 3.9. Densidad de Potencia eólica a 80 m en W/m ² , DE	79
Tabla 4.1. Métodos de riego con sus respectivas eficiencias	86
Tabla 4.2 Determinación del gotero en relación a la presión	89
Tabla 4.3. Diámetro mojado por un emisor	90
Tabla 4.4. Escala Beaufort para medición cualitativa de velocidad de viento	95
Tabla 4.5. Relación de velocidad específica con el número de palas	102
Tabla 4.6. Determinación de la cuerda	105
Tabla 4.7. Constantes de condiciones de extremos para columnas de Euler	112
Tabla 4.8. Cálculo de la velocidad periférica	113
Tabla 4.9. Cálculo de la velocidad aparente del viento	114
Tabla 4.10. Cálculo de la velocidad aparente del viento	114
Tabla 4.11. Obtención de fuerzas par	115
Tabla 4.12. Obtención de fuerzas axiales	116
Tabla 4.13. Obtención de fuerzas arrastre	116
Tabla 4.14. Obtención de fuerzas ascensional.	117
Tabla 4.15. Capacidad de bombeo. Relación del diámetro del cilindro y rotor	119
Tabla 4.16. Coeficiente de pérdidas de carga	129
Tabla 4.17. Coeficiente de pérdidas de carga II.	130
Tabla 4.18. Tipo de cargas y valores de k_f y k_t aplicadas	152
Tabla 4.19. Características del rodamiento de rodillos cónico elegido	160
Tabla 4.20. Cargas muertas que actúan en la torre	160
Tabla 6.1. Plantilla de cálculo de costos directos	241
Tabla 6.2. Plantilla de cálculo de costos de maquinaria	242
Tabla 6.3. Plantilla de cálculo de costos mano de obra	242
Tabla 6.4. Plantilla de cálculo de costos varios	243

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Circulación planetaria que no tiene en cuenta el mov. Rot. de la tierra	06
Fig. 2.2. Circulación planetaria que tiene en cuenta el mov. Rot. de la tierra	07
Fig. 2.3. Vientos Catábaticos.	07
Fig. 2.4. Fohn	08
Fig. 2.5. La brisa marina.	09
Fig. 2.6. Los vientos de valle	10
Fig. 2.7. Anemómetros de rotación.	10
Fig. 2.8. Variación de la velocidad del viento con la altura.	12
Fig. 2.9. Información empírica	13
Fig. 2.10. Anemómetro de cazoletas	15
Fig. 2.11. Diámetro de la hélice	17
Fig. 2.12. Configuración típica de sistemas de conversión de energía eólica	17
Fig. 2.13. Equipo eólico de eje vertical	18
Fig. 2.14. Molino colocado directamente sobre la fuente de agua	19
Fig. 2.15. Fuente de agua apartada de la torre.	23
Fig. 2.16. Anemómetro, Sensor de velocidad y dirección del viento	26
Fig. 2.17. Esquema Aero bomba	27
Fig. 2.18. Funcionamiento de la Aerobomba	28
Fig. 2.19. Sistema de bombeo de primera generación.	30
Fig. 2.20. Sistema de bombeo de segunda generación.	31
Fig. 2.21. Sistema de bombeo de manufactura informal.	32
Fig. 2.22. Sistema de bombeo no convencional tipo Savonius	33
Fig. 2.23. Sistema de bombeo no convencional tipo Savonius	34
Fig. 2.24. Sistema de bombeo eólico – eléctrico	36
Fig. 2.25. Cabezote del molino de viento.	36
Fig. 2.26. Sistema de transmisión.	37
Fig. 2.27. Mecanismo de orientación	40
Fig. 3.1. Estación de Magunchal a 10 m	59
Fig. 3.2. El Pintor a 80 m	59
Fig. 3.3. Mapa de alturas de Amazonas 80 m	61
Fig. 3.4. Ubicación del proyecto	62
Fig. 3.5. El histograma de la estación de MACHUNGAL	69
Fig. 3.6. Distribuciones de Weibull correspondientes a los histogramas	72
Fig. 3.7. Gráfica de correlación entre el parámetro k y la altura	73
Fig. 3.8. Gráfica de correlación entre el parámetro c y la altura	73

Fig. 3.9. Gráfica de correlación entre la densidad de potencia media y altura	76
Fig. 4.1. Esquema a considerar en un sistema de riego	83
Fig. 4.2. Medición de la evaporación.	84
Fig. 4.3. Forma de seccionar una pala	100
Fig. 4.4. Linealización y curvatura del alabe	103
Fig. 4.5. Forma del alabe, curvatura, y secciones transversales	104
Fig. 4.6. Vista superior de la pala, radios a diferentes secciones	104
Fig. 4.7. Vista 3D de la pala	105
Fig. 4.8. Esquema hidráulico	115
Fig. 4.9. Desplazamiento del pistón en función del ángulo de rotación	117
Fig. 4.10. Relación entre la longitud entre la biela y la manivela	122
Fig. 4.11. Velocidad del pistón en función del ángulo de rotación	122
Fig. 4.12. Aceleración del pistón en función del ángulo de rotación	128
Fig. 4.13. Fuerzas actuantes en el pistón.	131
Fig. 4.14. Esquema de fuerzas ejercidas sobre la biela.	133
Fig. 4.15. Esquema de la manivela	135
Fig. 4.16. Esquema de fuerzas de la manivela	136
Fig. 4.17. Esquema de fuerzas tramo C-D	136
Fig. 4.18. Esquema de fuerzas tramo B-C	138
Fig. 4.19. Esquema de fuerzas tramo A-B	141
Fig. 4.20. Eje del rotor	144
Fig. 4.21. Esquema de las fuerzas ejercidas sobre el eje del rotor	145
Fig. 4.22. Diagrama de momentos flectores en el eje	147
Fig. 4.23. Esquema de un esfuerzo fluctuante	151
Fig. 4.24. Geometría de la chaveta	159
Fig. 4.25. Esquema de la tornamesa	161
Fig. 4.26. Diagrama de cuerpo libre de la viga de la tornamesa	162
Fig. 4.27. Diagrama de cortantes y momentos en la viga	163
Fig. 4.28. Esquema del Perfil " L"	166
Fig. 4.29 Esquema de los soportes verticales soldados de la tornamesa	168
Fig. 4.30 Esquema de los soportes verticales soldados	171
Fig. 4.31 Esquema de la platina	173
Fig. 4.32 Esquema de fuerzas ejercidas sobre el eje de la tornamesa	174
Fig. 4.33 Diagrama soldadura	180
Fig. 4.34 Esquema de la veleta	182
Fig. 4.35 Esquema de la placa de la veleta	182
Fig. 4.36 Diagrama de cuerpo libre de la veleta	184
Fig. 4.37 Fuerzas que intervienen en la veleta	188

Fig. 4.38 Esquemas de almacenamiento utilizados sistema de aerobombeo	189
Fig. 4.39 Diagrama de equilibrio	192
Fig. 5.1. Flujo efectivo para 5 años	200
Fig. 6.1. Preparación a los involucrados en el proyecto	204
Fig. 6.2. Colocación óptima de la aerobomba	205
Fig. 6.3. Colocación no óptima de la Aerobomba	205
Fig. 6.4. Transporte de los componentes	206
Fig. 6.5. Descarga de los componentes	206
Fig. 6.6. Descarga de Tornamesa y Veleta	207
Fig. 6.7. Descarga de Torre	207
Fig. 6.8. Traslado de Torre al lugar de instalación	207
Fig. 6.9. Rotor, abrazaderas, pernos tuercas, aspas	208
Fig. 6.10. Plato del rotor, biela, plato manivela, eje	208
Fig. 6.11. Componentes de la veleta	209
Fig. 6.12. Barra, uniones, rotula	209
Fig. 6.13. Tee, válvula de pie, cuerpo de bomba, tubo de descarga,	209
Fig. 6.14. Martillo, lampa, pico, llaves, sogas, taladro, pico de loro, entenalla, clavos, rotula, tuercas y pernos, uniones, escalera	210
Fig. 6.15. Verificar las medidas de la pala y diámetro del Rotor	211
Fig. 6.16. Montaje del Plato Rotor en la Tornamesa	211
Fig. 6.17. Colocación del Plato Manivela en la Tornamesa.	212
Fig. 6.18. Colocación del cubo en el eje	212
Fig. 6.19. Aseguramiento de la cuba en el plato rotor.	213
Fig. 6.20. Verificación de las dimensiones de la veleta	213
Fig. 6.21. Colocación del tubo de aspiración.	214
Fig. 6.22. Colocación el tubo de descarga.	214
Fig. 6.23. Colocación de la Tee de salida de agua.	215
Fig. 6.24. Colocación de la bomba al pozo	215
Fig. 6.25 Ubicando la bomba al pozo	215
Fig. 6.26. Sujeción de la bomba al pozo	216
Fig. 6.27. Montaje de la tornamesa en el trípode de la torre	216
Fig. 6.28. Colocación de aspas	217
Fig. 6.29. Colocación de la veleta en la tornamesa.	217
Fig. 6.30. Alineación de la transmisión.	218

INTRODUCCION

Así mismo se evaluó la velocidad del viento en diferentes horas, días y meses, cuyos datos se desarrollan en el presente estudio.

El material con el que se diseña y las condiciones atmosféricas en las que se proyecta trabajar. Adicionalmente se propondrán un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el equipo a funcionar.

Sucede que actualmente el sector rural (departamento de Amazonas, provincia y distrito de Bagua, Caserío de Acerillo, Fundo Mauro), no cuenta con energía eléctrica, no siendo posible utilizar, electrobombas para elevar el agua. El poblador rural no está en condiciones de financiar una red primaria que les suministre energía. Una de las alternativas inmediatas y económicas para bombear agua surge la energía eólica. Utilizando los MOLINOS DE VIENTO; tiempo relativamente pronto para su instalación (1 mes promedio), aparecen los problemas en el funcionamiento tales como bajo rendimiento de bombeo, las aspas comienzan a desprenderse, etc. algunos incluso dejan de funcionar, entonces aparece la necesidad de mejorar el diseño y de implantar un plan de mantenimiento. El presente informe está abocado a la mejora de los molinos muy independientemente de los molinos que existen en el mercado; se ha recogido experiencia desarrollada por Holanda a través de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Católica del Perú.

A partir de 1992 el gobierno implantó un programa destinado a la compensación y al desarrollo social FONCODES (Fondo Nacional de Desarrollo y Compensación Social). Este programa financia pequeños proyectos de desarrollo como son la construcción de sistemas de agua y desagüe, debido a la inversión en electrificación actualmente esta entidad no financia electrificaciones rurales. Una de las alternativas inmediatas y económicas para bombear agua surge la energía eólica. Utilizando los MOLINOS DE VIENTO; FONCODES recoge la iniciativa y lo toma dentro de sus líneas de inversión. Inicialmente FONCODES comienza a construir Molinos del tipo ITINTEC, estos en un tiempo relativamente pronto desde su instalación (o meses promedio), aparecen los problemas en el funcionamiento, el rendimiento de bombeo

baja, las aspas comienzan a desprenderse, etc. algunos incluso dejan de funcionar, entonces aparece la necesidad de mejorar el diseño y de implantar un plan de mantenimiento. El presente informe está abocado a la mejora de los molinos muy independientemente de los molinos que existen en el mercado; se ha recogido experiencia desarrollada por diversas instituciones y profesionales del ramo.

El estudio trata sobre “DISEÑO DE UNA AEROBOMBA PARA RIEGO TECNIFICADO, CON ENERGÍA EÓLICA PARA EL SEMBRÍO DE PAPAYA EN LA LOCALIDAD DE ACERILLO – BAGUA - AMAZONAS”, trata desde una introducción al recurso eólico existente en la zona (realizado más profundamente por otros profesionales), recursos hidráulicos, en el fundo “Mauro”, diseño de Aero bomba, presupuesto y plan de mantenimiento.

CAPÍTULO I:

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

Uno de los principales problemas del poblador rural, es el descuido por las autoridades de turno, el impulso de proyectos productivos, como parte de una cadena socioeconómica para el desarrollo de los pueblos pertenecientes a la provincia de Bagua e incluso distritos. El caserío de Acerillo se encuentra a una altura de 370 m.s.n.m., cuenta con aproximadamente 174 hectáreas, de las cuales cerca de 120 hectáreas se dedican al sembrío de arroz, *20 hectáreas al sembrío de papaya*, 34 hectáreas a productos de pan llevar, así mismo el arroz cuenta con el regado del *Canal Nueva Victoria*, parte baja; la papaya y productos de pan llevar son regados por sistemas de motobombas, los cuales encarecen el producto.

Realizando un análisis de la zona se llega a la conclusión de la existencia de una meseta a la altura de Ventarrones, lugar perteneciente a Acerillo, con fuertes olas de Viento, sin embargo, pasa por la parte baja el *rio Utcubamba*, Aguas aptas para el cultivo de papaya, son aguas que provienen de la parte alta de la *CORDILLERA COLAN*, Aguas que atraviesan la provincia de Bagua, Utcubamba y Bongara, descienden a través de venas de aguas subterráneas y otras por quebradas y ríos.

Este proyecto surge de la necesidad de poder regar los terrenos de papaya, así mismo minimizar los precios de cultivo, para ser competitivo con el mercado, para esto surge la condición de utilizar energía renovable, un medio de bombeo a menos costo, menos costo de operación y mantenimiento.

1.2. Formulación del Problema

Actualmente contamos con energía renovable, tales como solar y eólica, en el lugar del proyecto, para eso debemos tener la certeza de inversión, y la rentabilidad de esta con respecto al uso de energías alternativas, tales como combustibles, solar, etc.

Debemos estudiar las condiciones climatológicas, para poder proyectar la magnitud de la máquina, así también realizar, un estudio de la necesidad del agua y de esta manera proyectar el caudal necesario para bombear.

1.3 Delimitación de la Investigación

La presente tesis se desarrolla en el caserío de *Ventarrones*, perteneciente a *Acerillo*, distrito de la *Peca*, provincia de *Bagua*, región de *Amazonas*. El estudio se desarrolló en un tiempo semestral, tomando datos de hace 10 años atrás, para poder calcular los años de avenida y sequía.

1.4 Justificación e importancia de la TESIS

La presente tesis busca encontrar la rentabilidad de un sistema de bombeo de agua accionado con energía renovable como lo es la AEROBOMBA, con respecto a una motobomba, que es accionado con combustible. O electrobomba, con energía eléctrica, La importancia del estudio del viento, caudal para abastecer de agua a los terrenos de riego de papaya.

El desarrollo del presente tema ha tenido relevancia particularmente en el Departamento de Lambayeque, no se cuenta con trabajos de esta naturaleza en el Departamento de Amazonas, por lo cual aplicar esta tecnología en nuestra provincia será de vital importancia para el desarrollo científico-tecnológico de nuestra región

El presente informe es importante también porque se han desarrollado métodos de cálculo para el diseño de aerobomba que aprovechará la mayor cantidad de energía del aire.

1.5 Limitaciones de la TESIS

En el proceso de investigación, se encontró la dificultad de la inexistencia de datos de velocidad de viento, cerca al proyecto, por el cual se tomó un estudio de muestra semestral, así también la proyección de datos de 2 estaciones meteorológicas, tales como Manguchal y el Pintor.

1.6 Objetivos de la TESIS

Objetivo General

Aprovechamiento de la energía eólica para fines de extracción de agua del río Utcubamba para regadío de 20 hectáreas de tierra de cultivo de papaya.

Objetivo Específico

1. Diseñar las autopartes de un molino de viento (aerobomba) para extraer agua del río Utcubamba, para regadío de tierras de cultivo de papaya.
2. Observar el comportamiento, dirección y medir cuantitativamente el viento

para obtener resultados utilizables para la investigación.

3. Calcular el potencial eólico y el efecto que esta produce en el sistema eólico.
4. Diseñar un plan de mantenimiento y calcular los costos de la aerobomba.
5. Calcular la rentabilidad de la aerobomba.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

El mundo es cada vez más tecnificado, donde la tecnología y la industria adquieren un papel muy importante y es por esto que en los últimos años se ha creado organizaciones internacionales encargadas de velar por el cumplimiento y control de algunos lineamientos, a fin de disminuir los daños provocados por el uso indiscriminado de las reservas y fuentes de energía. La razón principal del desarrollo de este sistema de bombeo eólico, encargadas de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica que pone en movimiento el sistema, junto con el viento generado por el ambiente, bombea el agua, para satisfacer las demandas en los meses de mayor consumo a causa de la sequía. Existen diversos tipos de Aerobomba, pero este estudio se refiere a las Aerobombas de eje horizontal de giro lento (multipalas), así también de todos los factores que con lleva en sí al uso de este tipo de sistemas conversores de energía y su aplicación. Las máquinas de eje horizontal pueden ser lentas o rápidas, según sea la velocidad típica de la punta de la pala, definida a través de su velocidad específica. En la actualidad existe documentación relacionado a este tema, que nos ayudara a la selección del tipo de sistemas de bombeo eólico en función de las condiciones climáticas del lugar.

2.2 GENERALIDADES

2.2.1.-La Energía Eólica

Esta energía renovable requiere de un estudio minucioso debido a que la clave de este recurso inagotable es la determinación de la velocidad del viento; ya que este tiende a variar durante el transcurso del año. El potencial eólico de una zona determinada se ve influenciado directamente por la velocidad del viento, ya que es proporcional al cubo de la velocidad del viento, motivo por el cual resulta complicado estimar un valor exacto. A su vez la velocidad del viento depende de las características de la zona, dentro de estas se encuentra principalmente la localización topográfica y la rugosidad del terreno, que provocan cambios en la magnitud y dirección del viento.

A nivel mundial se presenta una gran variedad de velocidades promedias que se encuentra entre 2 m/s y 7 m/s a lo largo del año, que equivale a un potencial eólico de 40 a 200 W/m².

2.2.2.-Circulación del Viento

En nuestro planeta se produce un fenómeno interesante con relación al aire en movimiento, este fenómeno es provocado por la energía solar. Los rayos solares que inciden sobre la tierra calientan las masas de aire que se encuentran en la atmósfera.

Al calentarse estas masas de aire experimenta un cambio en su densidad, lo que origina el movimiento de dichas masas, este movimiento es lo que se denomina viento, y junto con la rotación de la tierra crean los llamados patrones globales de circulación. La energía solar que llega a la tierra es aproximadamente de 1017 vatios, pero de esta cantidad solo el 1% va destinado a la generación de viento.

Las regiones cercanas a la línea ecuatorial, reciben más energía solar que aquellas que se encuentran alejadas hacia los polos, debido a que los rayos solares impactan perpendicularmente sobre nuestro planeta. El aire que se encuentra en la zona ecuatorial, al calentarse, su densidad disminuye, por lo tanto, tiende a ascender con dirección hacia los polos, pero al llegar a estas zonas se enfría, provocando que su densidad sea mayor, esto origina el retorno del viento a la línea ecuatorial.

Como resultado de las diferentes clases de fuerzas que afectan al comportamiento del viento se dan dos formas de circulación del aire:

- Circulación planetaria.
- Circulación a pequeña escala.

2.2.2.1. Circulación planetaria

Este tipo de circulación del aire se debe básicamente a la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre, aquí se pueden distinguir los siguientes modelos.

Modelo de circulación planetaria del aire que no tiene en cuenta el movimiento de rotación de la Tierra. - Para este modelo el Ecuador recibe la máxima radiación solar mientras que los

polos reciben la mínima radiación solar. Así las diferencias de temperatura y de presión entre ambas zonas producirían un movimiento circulatorio del aire, el aire de las zonas cálidas primero ascendería a las capas altas de la atmósfera y a continuación se dirigiría a las zonas polares. Por su parte el aire frío procedente de los polos enfriaría las zonas del ecuador completando la circulación como se muestra en la Figura 2.1.

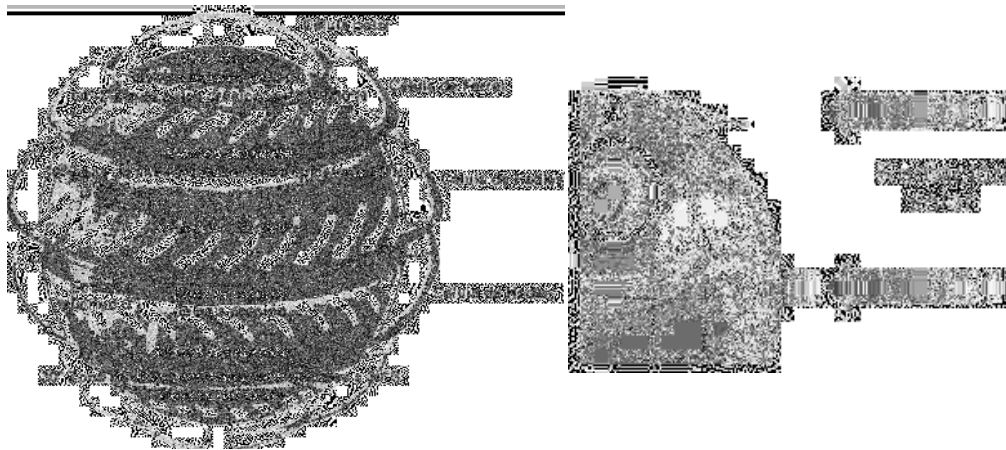


Fig. 2.1. Circulación planetaria que no tiene en cuenta el movimiento de rotación de la Tierra

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

Modelo de circulación planetaria del aire que tiene en cuenta el movimiento de rotación terrestre. - Este modelo (Figura 2.2.), considera los efectos de la fuerza de Coriolis debido a la rotación de la tierra, esta fuerza tiende a desviar hacia el este el aire de las capas altas, y hacia el oeste el de las capas más bajas en el hemisferio norte. En el hemisferio sur ocurre lo contrario. En cada hemisferio se pueden distinguir tres zonas climáticas: tropical, templada y polar, en las zonas de actuación de los diferentes ciclos (anticiclones y borrascas).

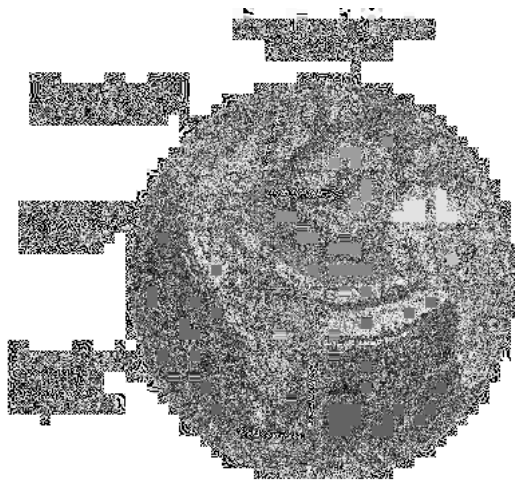


Figura 2.2. Circulación planetaria que tiene en cuenta el movimiento de rotación de la Tierra

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

2.2.2.2.- Circulación a pequeña escala

Vientos catábaticos.- El viento catabático (Figura 2.3.) es el producido por el descenso de aire fresco desde regiones elevadas a regiones más bajas en forma de brisas, a través de laderas y valles. Este tipo de viento presenta poca relación con el gradiente de presión y temperatura ya que viene regido principalmente por la dirección de los valles a través de los cuales desciende.

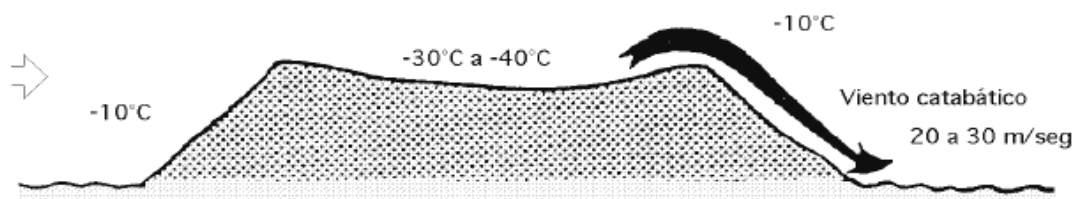


Figura 2.3 Vientos Catábaticos

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

Vientos anabáticos. - presenta una componente vertical ascendente, siendo el término opuesto al catabático.

Fohn.- es un viento fuerte, seco y cálido, que se produce en ocasiones, en ladera de sotavento (contraria a la que sopla el viento) de los sistemas montañosos, un fohn se presenta precedido por un sistema de bajas presiones que avanza,

ocasionando fuertes vientos en la troposfera media y alta. Cuando un FOHN (Figura 2.4.) se acerca a una montaña, el aire sube por la ladera de barlovento, enfriándose por debajo de la temperatura de condensación formando nubes que se mantienen adosadas a las cimas de las montañas, que provocan precipitaciones, por lo que el contenido de humedad del aire baja y así el aire que desciende por sotavento es seco, calentándose en el descenso a razón de 10°C por km.

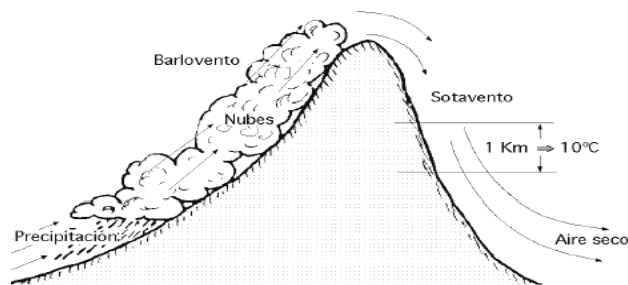


Figura 2.4. Fohn

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

2.2.2.3.- Escalas de Viento

El viento dentro de nuestro globo terrestre podemos encontrarlo con una variedad de velocidades, que dependerán de la altura, la variación horizontal y las sombras presentes en determinadas zonas.

Está definido por dos parámetros importantes que es su dirección y su velocidad, la misma que es más débil durante la noche con muy poca variación, alcanzando un máximo entre las 12 y 16 horas solares.

El viento presenta una variación tanto horizontal como vertical, generando diversos tipos de vientos.

2.2.2.4.-Variación horizontal

Es importante el estudio del viento en esta dirección debido a que su desplazamiento es mayor en este sentido con relación al vertical, la variación horizontal y la altura nos permite definir un factor muy importante como es la velocidad del viento y la utilidad que se le podría dar. Dentro de esta variación se puede encontrar los siguientes tipos de viento:

2.2.2.5.-Vientos de escala macro

Este flujo se presenta en una trayectoria entre 100 y 10000 kilómetros, el cual se origina por la circulación global, el viento de escala macro no perturba a la superficie terrestre debido a que se encuentra a altitudes superiores a los 1000 metros.

2.2.2.6.-Vientos de escala media

La distancia que recorren está entre 5 y 200 kilómetros, poseen variaciones sobre el terreno debido a que el flujo influye a una altura entre 100 y 1000 metros, la topografía es importante y los vientos tienden a fluir por encima y alrededor de montañas y colinas. Debido a la presencia de rugosidades (obstáculos de gran altura) el viento tiende a desacelerarse. Dentro de esta escala se puede encontrar:

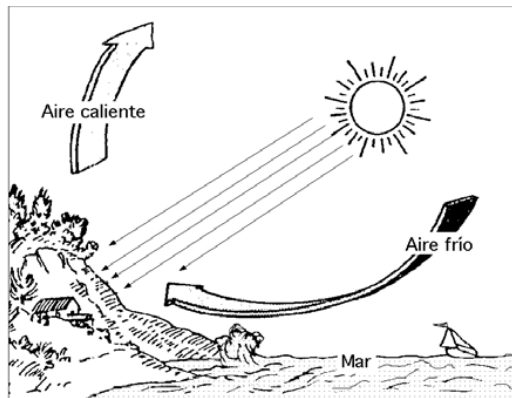


Figura 2.5. La brisa marina.

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

La brisa marina. - se puede observar cerca de las playas (Figura 2.5), se genera debido a que durante el día la tierra se calienta más que el mar, provocando que el aire sobre la tierra ascienda, también se desarrolla durante la noche, en esta situación la tierra se enfría más que el mar, provocando una brisa terrestre, la cual es más débil que la brisa marina.

Los vientos de valle. - montaña se producen durante el día y la noche, en el día las faldas de las montañas se calientan, ocasionando que el aire ascienda y el viento tienda a fluir a través del valle hacia la montaña, mientras que durante la noche se presenta un efecto contrario el frío hace descender el aire desde la montaña hacia el valle.

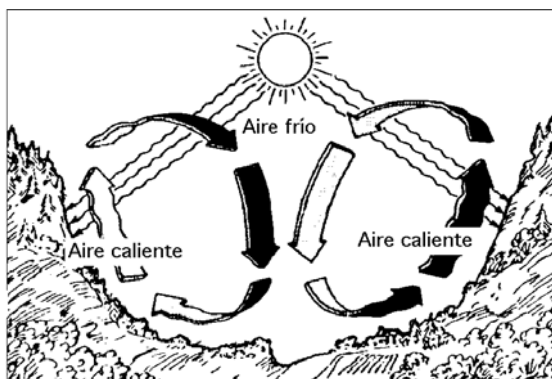


Figura 2.6. Los vientos de valle

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

2.2.2.7.- Vientos de escala micro

Tienen un recorrido hasta de 10 kilómetros, la altura que alcanza sobre la superficie esta entre 60 m y 100 m, siendo la escala más importante debido a que son los más aprovechados para la conversión de energía eólica, son vientos que están influenciados por la rugosidad del terreno.

2.2.2.8.-Variación del viento con la altura

La velocidad del viento varía de acuerdo a la altura y los obstáculos presentes en el área de estudio, según estos factores la velocidad será aprovechada de una mejor manera en terrenos con poca o ninguna rugosidad, ya que en esta condición el viento puede ser utilizado en mayor porcentaje a alturas poco elevadas, mientras que los terrenos con presencia de obstáculo no permitirán el uso adecuado del viento a alturas menores (60 m. – 100 m.).

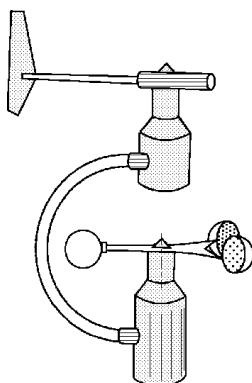


Figura 2.7. Anemómetros de rotación

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

Para realizar la medida de las velocidades del viento se utilizan los anemómetros de rotación y presión, el más utilizado es el de rotación que consta de un eje vertical en el cual están dispuestas cazoletas en forma de semiesfera o de aletas oblicuas que giran ante la presencia del viento receptando así su velocidad, mientras que la dirección se determina mediante una veleta. La velocidad del viento varía con la altura, la Ley de Hellmann lo expresa mediante la siguiente ecuación estadística:

$$V_h = V_{10} (h / 10)^\alpha \quad \text{Ec. 2.1}$$

V_h = Es la velocidad del viento a una altura determinada.

h = Altura de estudio desde la base del terreno.

V_{10} = Velocidad del viento a una altura de 10 metros.

α = Es el exponente de Hellmann que varía con la rugosidad del terreno (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno.

Tipo de terreno	Exponente de Hellmann
Lugares llanos con hielo o hierba	$\alpha = 0.08 - 0.12$
Lugares llanos (mar, costa)	$\alpha = 0.14$
Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0.13 - 0.16$
Zonas rústicas	$\alpha = 0.2$
Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0.2 - 0.26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0.25 - 0.4$

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

En la figura se observa la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el terreno.

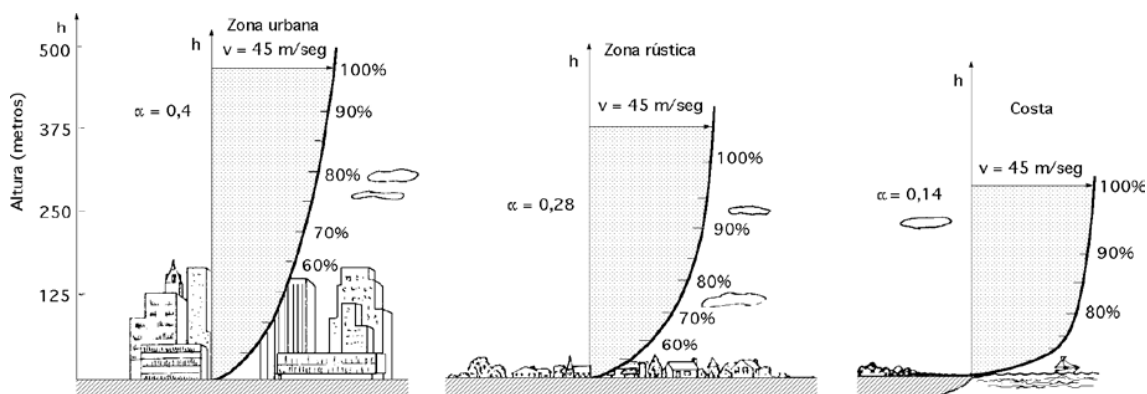


Figura 2.8. Variación de la velocidad del viento con la altura

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

Para la determinación de la potencia máxima en un tiempo donde las velocidades son iguales o superiores a la V_{nom} , es necesaria una velocidad de viento determinada para poner en marcha cualquier tipo de dispositivo eólico.

Para un adecuado funcionamiento de una máquina eólica es necesario considerar los tipos de velocidades de viento, así como sus características:

La velocidad de conexión ($V_{conex.}$) es aquella velocidad del viento por encima de la cual se genera energía. Por debajo de esta velocidad toda la energía extraída del viento se gastaría en pérdidas y no habría generación de energía.

La velocidad nominal (V_{nom}) es la velocidad del viento requerida para que la máquina eólica alcance su potencia nominal. Por encima de esta velocidad la potencia extraída del viento se puede mantener constante.

La velocidad de desconexión (V_{emb}) es aquella velocidad del viento por encima de la cual la máquina eólica deja de generar, porque se embala, los sistemas de seguridad comienzan a actuar frenando la máquina, desconectándose de la red a la que alimenta.

2.2.2.9.-Métodos para medir la velocidad del viento

Para poder realizar un correcto diseño de una máquina eólica es necesario recolectar datos reales sobre la velocidad del viento de la zona a implementarse, para lo cual existe una variedad de estrategias:

1.-Información empírica. - Se la realiza mediante la observación

directa de las condiciones del lugar (inclinación de la vegetación, movimiento de las hojas de los árboles) e información de sus habitantes.

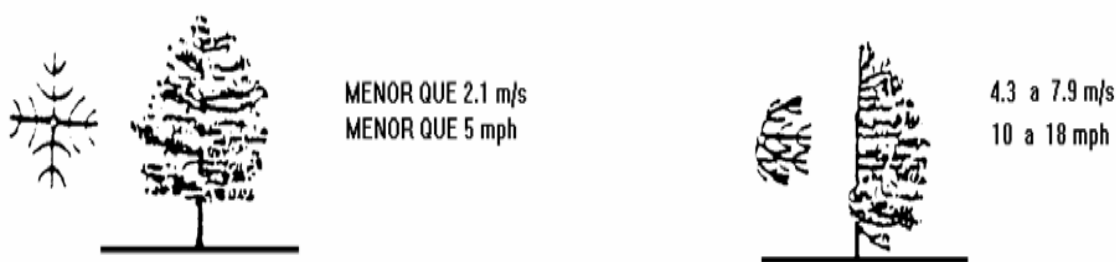


Figura 2.9. Información empírica

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

Dentro de la información empírica podemos valernos de la escala de Beaufort que nos indica la velocidad del viento basándose en las características del entorno.

La escala de Beaufort (Tabla 2.2) va hasta el número 17 donde se indican velocidades de viento hasta de 60 m/s.

Tabla 2.2 Escala de Beaufort para la intensidad de viento

Número Beaufort	Velocidad de Viento (m/s)	Efectos observados en tierra
0	0 - 0.2	Calma, humo asciende verticalmente.
1	0.3 - 1.5	El humo indica la dirección del viento.
2	1.6 - 3.3	Se siente el viento en la cara; se mueven las hojas de los árboles
3	3.4 - 5.4	Hojas y ramas pequeñas se mueven constantemente.
4	5.5 - 7.9	Polvo, hojas y papel en el piso se levanta; ramas se mueven.
5	8.0 - 10.7	Pequeños árboles comienzan a bambolear.
6	10.8 - 13.8	Ramas grandes de los árboles en movimiento.
7	13.9 - 17.1	Todo el árbol se mueve; resistencia fuerte al caminar
8	17.2 - 20.7	Ramitas y ramas de los árboles se rompen; caminar es difícil.

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

2.-Anemómetros totalizadores. - son dispositivos conformados por cazoletas que al girar registran la velocidad del viento, al estar conectado a un odómetro se puede obtener una velocidad media en un determinado tiempo.

Para la adecuada toma de datos el anemómetro debe estar ubicado en una zona libre de obstáculos y a una altura de 10 metros desde la superficie del terreno.

Los datos obtenidos durante un periodo de tiempo son totalizados y brindan un promedio de la velocidad del viento de dicho lugar, identificando de manera acertada las variaciones diarias, mensuales o estacionarias; la toma de datos más adecuada se la realiza en lapsos de una hora.

3.-Método de correlación. - este método permite combinar las mediciones de viento obtenidas en un lapso de tiempo corto de un lugar específico con datos proporcionados por departamentos de meteorología de zonas aledañas. Para conseguir una estimación real del potencial eólico es necesario realizar un seguimiento durante un tiempo prolongado de toma de datos; se debe tener presente las variaciones de la dirección del viento, debido a que los factores de correlación varían.

4.-Instalación de pequeños equipos eólicos. - son aparatos que permite relacionar la característica del equipo con el régimen del viento, los datos adquiridos son confiables cuando el equipo funciona dentro de los parámetros del fabricante, para seleccionar un lugar de emplazamiento se recurre al conocimiento empírico de los habitantes a cerca del régimen de vientos.

5.-Adquisición de datos en tiempo real. - es el más confiable pero costoso, debido a que para la adquisición de datos es necesario un pequeño computador para el almacenamiento de datos, los cuales pueden ser tomados en lapsos de segundos, horas, días o meses. Hoy en día se cuenta con equipos sofisticados que permiten extraer los datos mediante telefonía celular desde el lugar donde se encuentra instalado el equipo hacia un departamento establecido por

el personal de trabajo. Los resultados evaluados con esta metodología garantizan un preciso y adecuado dimensionamiento de equipos eólicos.

2.2.3.- Determinación de la potencia del viento

Uno de los parámetros más importantes en el tratamiento de cualquier fuente energética es la potencia, entre estas se encuentran las aerobombas, para lo cual lo que se determina es una cierta cantidad de aire sobre el área del rotor o también considerada como el área barrida por la máquina eólica. En dicha área se produce la transformación de la potencia cinética del viento en potencia mecánica, que es entregada a través del eje principal del aerobomba. La potencia eólica disponible para este caso se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad \text{Ec.2.2.}$$

En la figura 2.10 se presenta un esquema donde se puede apreciar el diámetro de hélice y su respectiva área:

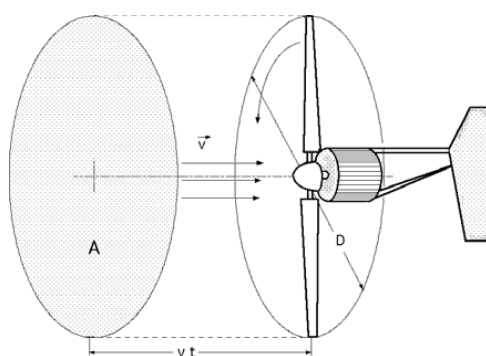


Figura 2.10. Diámetro de la hélice

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

Betz, un investigador de energía eólica, demostró que el máximo valor del coeficiente de potencia que se puede obtener es de 16/27. En la práctica este valor es inalcanzable los valores que se llegan a obtener están entre 0.4 y 0.5 para la generación de electricidad y entre 0.3 y 0.4 para el bombeo del agua usando tecnologías modernas. Para el caso de máquina artesanal los coeficientes de potencia oscilan entre 0.15 y 0.20, dependiendo de los materiales y los modelos utilizados.

2.2.4.- Representación estadística del viento

Conociendo que la energía eólica posee características aleatorias y dispersas, es necesario utilizar la estadística para determinar si un emplazamiento es adecuado o no, de esta manera la velocidad del viento tiende a ser una variable aleatoria con una cierta función de distribución, comúnmente se utiliza la distribución de Weibull en donde se trata de una distribución de dos parámetros c y k , que son el parámetro de escala y el parámetro factor de distribución de forma respectivamente. Para representar lo mencionado anteriormente se presenta la ecuación:

$$f(V) = \frac{k}{c} * \frac{(V)^{k-1}}{c} \frac{(-V)^k}{c} \quad EC.2.3.$$

$f(V)$ = Función de la densidad de la probabilidad de Weibull, la probabilidad de encontrar una velocidad del viento en m / s

c = Factor de escala de Weibull que se relaciona con la velocidad del viento media con el factor de forma en m / s

k = Factor de forma de Weibull que describe la distribución de las velocidades de viento

2.2.5.- Tecnología eólica

Durante los últimos años se ha dado un desarrollo tecnológico entorno al desarrollo de energías alternativas, buscando de esta manera reducir el uso de combustibles fósiles, contribuyendo de esta manera con el medio ambiente. Los equipos eólicos se dividen en dos tipos: Los Sistemas de Conversión de energía eólica de eje Horizontal. - tiene dos subdivisiones como son los de baja velocidad (muchas aspas) o los de alta velocidad (pocas aspas) y los Sistemas de Conversión de Eje Vertical. - poseen una subdivisión similar a los de eje horizontal.

2.2.6.- Equipos eólicos de eje horizontal

Estos equipos basan su principio de extracción de energía del viento en el fenómeno de sustentación que se presenta en alabes y formas aerodinámicas, tal como sucede con los perfiles en las alas de los aviones.

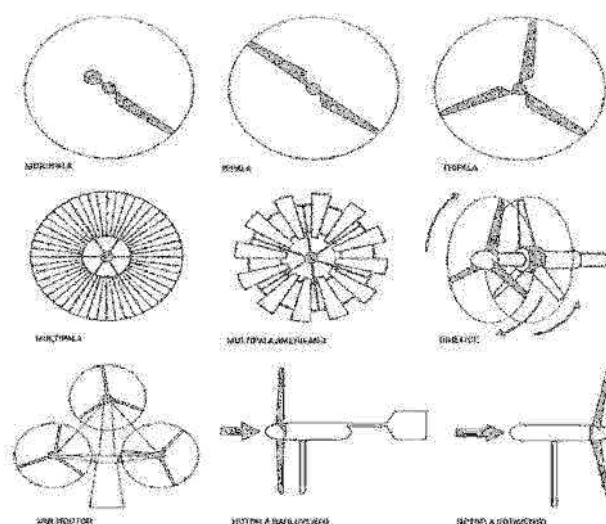


Figura 2.11. Configuración típica de sistemas de conversión de energía eólica de eje horizontal

Fuente: OLADE No 10 – 1980

2.2.7. Equipos eólicos de eje vertical

El principio de operación es el de los anemómetros de cazoletas y se fundamenta en la fuerza de arrastre sobre superficies y en la sustentación para la extracción de energía.

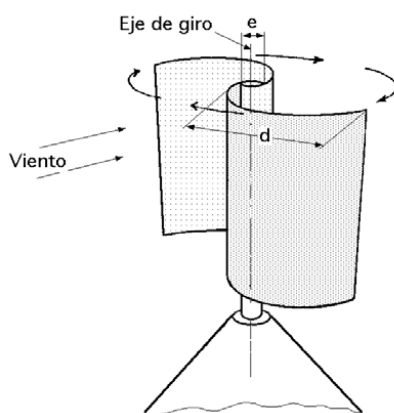


Figura 2.12. Equipo eólico de eje vertical

Fuente: Diseño y construcción de una aerobomba Chunchi-Guaman

Para seleccionar un equipo eólico de eje horizontal o vertical se debe tener presente sus ventajas y desventajas, debido a que son los equipos de eje vertical pueden captar el viento en cualquier dirección, mientras que los equipos de eje horizontal requieren de un sistema de control para enfrentar el rotor con la dirección de viento. El tipo de solución técnica al problema de aerobombear depende de la disponibilidad del recurso hidráulico, ya que su localización determina

la estrategia de bombeo. En este sentido se distinguen dos situaciones prácticas, a saber: aerobombeo directo y aerobombeo remoto. La primera situación de bombeo ocurre cuando la fuente de agua es un pozo o aljibe y la solución de aerobombeo es la aplicación de bombeo directo en el cual el molino se coloca directamente sobre la fuente de agua. Este tipo de instalación es la más común de las aplicaciones de aerobombeo. Una variante de esta aplicación puede ser cuando la bomba está extrayendo agua de un río y la bomba hidráulica puede ser localizada en la base de la torre y la acción de bombeo se realiza lateralmente. La segunda opción de aerobombeo, se da cuando la fuente de agua se encuentra apartada de la posible localización de la torre de la aerobomba. Esta situación es típica de regiones montañosas en las cuales el recurso eólico tiene mayor intensidad en la cima de las montañas y la fuente de agua es un río, un pozo o aljibe que se encuentra a gran distancia, tanto lateral como vertical.

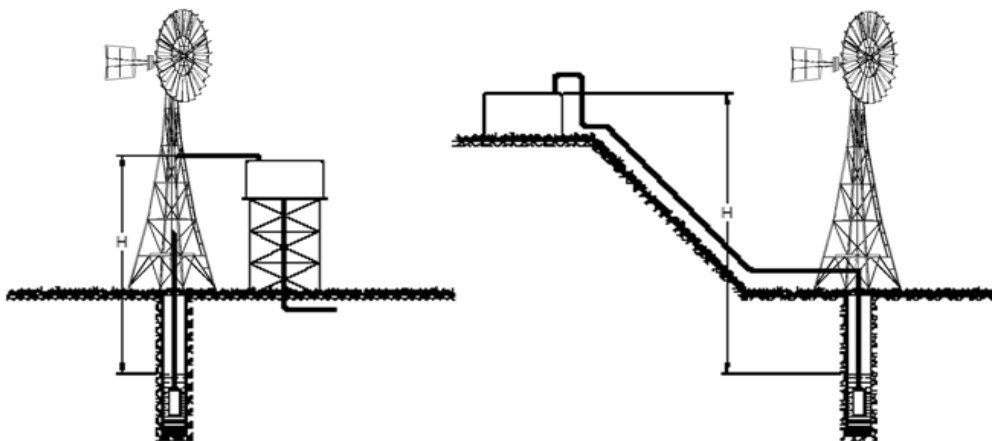


Figura 2.13. Molino colocado directamente sobre la fuente de agua

Fuente: www.molinosjober.com

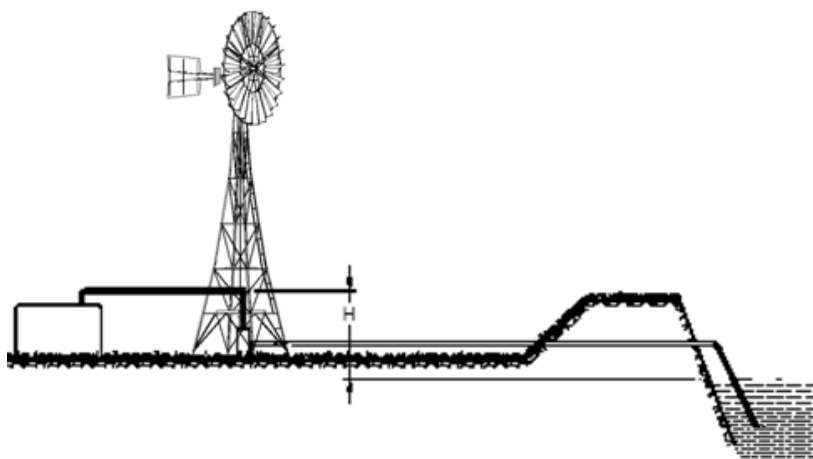


Figura 2.14. Fuente de agua apartada de la torre

Fuente: www.molinosjober.com

2.2.8.- Principio básico de los sistemas de bombeo.

Las máquinas para la captación de la energía del viento, conocidas como molinos de viento o Aerobombas, es una de las máquinas más antiguas construidas por el hombre. No existe un acuerdo o certeza total en cuanto al lugar donde aparecieron los primeros molinos o quien fue su inventor. Algunos estudiosos dicen que fue una idea del célebre inventor griego Herón de Alejandría por el siglo I antes de la era cristiana. Otros opinan que aparecieron en Persia, en el siglo VII de nuestra era. Luego, los árabes adoptaron este ingenioso mecanismo, el que fue llevado a Europa por los cruzados. Fue así como durante la Edad Media los molinos de viento alcanzaron un gran auge en Europa. Además de emplearse para el riego y moler el grano, los molinos construidos entre los siglos XV y XIX tenían otras aplicaciones, como el bombeo de agua en tierras bajo el nivel del mar, aserradores de madera, fábricas de papel, prensado de semillas para producir aceite, así como para triturar todo tipo de materiales.

2.2.9.- Funcionamientos del molino de viento.

El giro del rotor se acciona a través de la biela y por medio de los vástagos instalados en el interior de los tubos, la bomba de pistón (situada en el fondo del pozo) dispone de un pistón y un sistema de válvulas que de forma coordinada con el movimiento transmitido por los vástagos van impulsando el agua por el interior de los tubos hasta la superficie para desembocar en un depósito. Una de las características

principales de las bombas de pistón es que en caso de que el pozo quedara con un nivel de agua inferior al previsto para la bomba, esta seguiría bombeando agua y aire sin resultar perjudicada.

Aplicaciones de los molinos de viento.

- Suministro de Agua a Poblaciones.
- Suministro de Agua en la Agricultura y Ganadería.
- Trasvase de agua entre embalses a distintos niveles
- Suministro de agua a industrias. etc.

2.2.10.- Características generales del clima en el Perú.

El Perú está situado al Noroeste de América del Sur, entre los 01° 28' de Latitud Norte y 05° 01' de Latitud Sur y desde los 75° 11' en la planicie Amazónica hasta los 81° 01' de longitud Oeste. El territorio del Perú Ecuador está dividido en tres regiones naturales claramente definidas entre sí, ya sea por su topografía, clima, vegetación y población.

Debido a su posición geográfica y a la diversidad de alturas impuesta por la cordillera de los Andes. Perú presenta una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias. Nuestro País está ubicado dentro del cinturón de bajas presiones atmosféricas por esta razón ciertas áreas del Ecuador reciben la influencia alternativa de masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad.

2.2.10.1.-Características generales del clima en la provincia

La región Amazonas está situada en el extremo nororiental del Perú entre la cordillera andina y la llanura amazónica. Abarca una superficie de 39,249.13 Km², que representa el 3.5% del territorio nacional. Posee 7 provincias y 83 distritos, siendo su capital Chachapoyas. Las provincias de la zona norte y media, comprende las provincias de: Rodríguez de Mendoza, Condorcanqui, Bagua y Utcubamba (Fig.1), que presentan ecosistemas propios de selva baja y ceja de selva. Los bosques húmedos y secos, abarcan una superficie aproximada de 3'420,363 Ha (86.1%), el resto del territorio comprende la zona de Sierra o Andes Amazónicos con

554,031 Ha (13.9%), ubicadas en la zona sur de la región (provincias de Chachapoyas, Luya y Bongará)

El clima es variado de acuerdo a las regiones. En el sector de los Andes Amazónicos, la temperatura media es de 19.8 °C; pudiendo presentar una baja hasta los 7.4 °C. En el sector de la Selva Alta, la media anual de temperatura máxima y mínima es de 34.6 °C y 10 °C respectivamente. Los suelos son un reflejo de su diversidad climática, el relieve, la estructura geológica, la vegetación y la intervención antrópica. En la provincia de Bagua, de manera general se presentan dos tipos de climas (i) cálido templado, con temperaturas que varían de 14.5° a 25°C; precipitaciones que varían de 500 a 4,000 mm ubicadas a altitudes de 500 a 3,500 m.s.n.m. Comprende cuatro grandes paisajes: montañoso de la cordillera oriental, montañoso y colinado de la cordillera subandina, plano-ondulado y de llanura aluvial de los ríos Marañón, Utcubamba y afluentes, y (ii) cálido árido, que comprende los espacios de menor altitud de la provincia, presenta temperaturas promedio anual de 25.1° C, con una precipitación media anual de 1,400 mm y altitudes que varían de 350 a 1,400 msnm. Comprende los paisajes: montañoso, colinado, plano ondulado (cordillera subandina) y llanura de los ríos Marañón y Utcubamba. Las precipitaciones pluviales son de 600 - 800 mm por año. En la ciudad de Bagua la temperatura es alta, con promedio de 30-32 °C, una mínima de 18 °C y una máxima de 40 - 43 °C; estas condiciones tórridas se deben a que el valle se encuentra dentro de la ecorregión del bosque seco ecuatorial o conocido también como Yunga

2.2.11.- Factores que controlan las condiciones climáticas

Las características climatológicas del Ecuador como las de cualquier otra parte del planeta, responden a una diversidad de factores que modifican su condición natural, como: Latitud geográfica, Altitud del suelo, Dirección de las cadenas montañosas, Vegetación. Etc.

2.2.12.- Variables principales del clima

Entre las variables principales del clima se tiene: Temperatura, Humedad, Lluvia, Evaporación, Dirección, Fuerza del viento, Radiación solar, etc.

2.2.13.- El viento.

Se define como aire en movimiento, es un elemento meteorológico que consta de dos parámetros: Dirección e intensidad. La dirección se mide por un instrumento llamado "Veleta" y la intensidad con un "Anemómetro"

El viento es el desplazamiento horizontal de las masas de aire, causado por las diferencias de presión atmosférica, atribuidas a la variación de temperatura sobre las diversas partes de la superficie terrestre. Es decir, las distintas temperaturas existentes en la tierra y en la atmósfera por la desigual distribución del calentamiento solar y las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas, producen corrientes de aire. Las masas de aire más caliente tienden a subir y en su lugar se ubican masas de aire más denso y frío.

2.2.13.1.-Características del viento.

Son la intensidad y la dirección. La primera se mide según la escala de Beaufort

Tabla 2.3. Escala Beaufort para la medición cualitativa de la velocidad

Escala Beaufort		
1	Vel. viento en m/s.	Características
2	1.8 – 3.3	Perceptible a la cara
3	3.4 – 5.2	Leve movimiento de hojas
4	5.3 – 7.4	Leves movimientos de ramitas
5	7.5 – 9.8	Se oye silbar el viento

Medición del viento.

La velocidad (intensidad) del viento se mide con el anemómetro, que es un molino de tres brazos, separados por ángulos de 120°, que se mueve alrededor de un eje vertical. Los brazos giran con el viento, accionan un contador que indica en base al número de revoluciones, la velocidad del viento incidente.

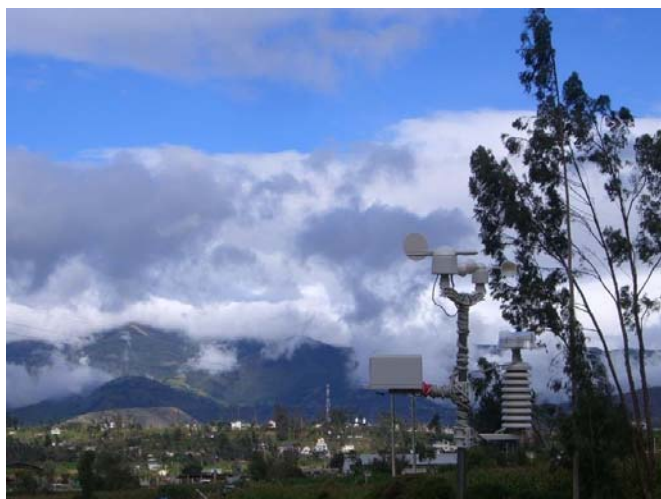


Fig. 2.15. Anemómetro, Sensor de velocidad y dirección del viento

Fuente: foto referencial tomada por el autor

2.2.14.- Energía.

Se conoce como energía eólica al aprovechamiento de la energía del viento. La energía cinética del movimiento de las moléculas de aire puede ser convertida en energía mecánica por el rotor.

2.2.14.1.-Energía eólica.

Es la energía contenida en el viento, pues las masas de aire al moverse contienen energía cinética (aquella asociada a los cuerpos en movimiento), las cuales al chocar con otros cuerpos aplican sobre ellos una fuerza. Por eso cuando nos enfrentamos a una ráfaga de viento sentimos que una fuerza nos empuja. Los usos comunes de la energía eólica son: Aerogenerador (pequeñas o medianas potencias eléctricas), Aerobomba (bombeo usando el viento), Extractor (recirculación del aire), Molino (molienda de grano)

2.2.14.2.-Forma de aprovechamiento de la energía eólica.

La forma de aprovechamiento consiste en transformar la energía eólica en energía mecánica. La energía del viento se ha utilizado esencialmente en molinos de viento, los cuales han permitido principalmente el bombeo de agua, la trilla y molienda de productos agrícolas y en los últimos años, generación de energía eléctrica. Las características básicas, que permiten analizar la aplicación de la energía eólica son las siguientes:

- Zona de emplazamiento.
- Velocidad del viento: módulo y dirección

El aprovechamiento de la energía eólica constituye una alternativa muy importante y competitiva, por lo que es mucha en la actualidad su aplicación a nivel mundial, de esta manera se remplazará los combustibles tradicionales, sin originar contaminación en el medio ambiente.

2.2.15.- Principio de funcionamiento.

El sistema de captación consta de un rotor multipalas que proporciona un elevado par de arranque. El ángulo de ataque de las palas es fijo y la regulación se realiza casi siempre por medio de una superficie plana colocada, a modo de pala, en el mismo plano que el rotor y por tanto perpendicular a la dirección del viento.

Es preciso destacar que este sistema de producción de energía mecánica tiene el inconveniente de no funcionar con vientos débiles o muy fuertes. Por lo tanto, debe ser utilizado en zonas con vientos moderados y regulares. La Aerobomba va generalmente acoplada a una bomba de pistón situada en el interior de un pozo o un lugar donde se capte el agua, la cual es accionada por el tren de vástago movido mediante un sistema biela manivela.

2.2.15.1.-Bombeo eólico.

La aplicación de bombeo de agua con energía eólica tiene dos posibilidades, un molino de multipala americano típico donde lo que prevalece es el torque para accionar la bomba mecánica; o, un aerogenerador eléctrico que se conecta directamente a una bomba que se diseña para una frecuencia similar al generador.

El bombeo eólico se puede llevar a cabo mediante:

a.- Bombeo con aerobomba.

La energía del viento mueve directamente el eje de una bomba sumergida. El agua extraída se puede almacenar en un depósito. Este sistema puede fabricarse localmente a un bajo costo, se aplica cuando la velocidad media del viento es menor a 4,77 m/s.

b.-Bombeo directo.

El molino acciona eléctricamente una bomba en función de la capacidad del viento actuante.

c.-Sistema eólico para “bombeo de agua”.

Una Aerobomba es un molino con un elevado momento de torsión y de baja velocidad, se usan con mayor frecuencia en las regiones rurales. Las Aerobombas para bombeo se emplean sobre todo para drenar agua del subsuelo. Estas máquinas se valen de una pieza rotatoria multipalas que parten de un eje horizontal que tiene de 6 a 24 palas según los tipos y según los diámetros, los diámetros suelen ir de 1.6 a 6m. La pieza rotatoria se instala sobre una torre lo bastante alta como para alcanzar el viento. Una larga veleta en forma de timón dirige la rueda hacia el viento.

d.-Bombeo mecánico del agua.

Una de las formas para el bombeo del agua consiste en la utilización de una bomba a pistón, que provoca la aspiración en la tubería sumergida y la expulsión hacia un depósito de acumulación.

Es necesario para lograr este objetivo, conectar la bomba a un dispositivo, en general es preferible que el bombeo se efectúe en forma lenta, a fin de reducir resistencia a la circulación del agua por las cañerías. Por ello en la aplicación mecánica de los sistemas eólicos para bombear el agua, no se requiere una velocidad de giro del rotor elevada, debiendo contar, sin embargo, con un alto par de arranque, para vencer la inercia del equipo.

Los molinos tipo multipalas convencionales, cumplen con estas condiciones contando con un alto par de arranque y puede funcionar también con vientos muy débiles.

2.2.16.- Aerobomba.

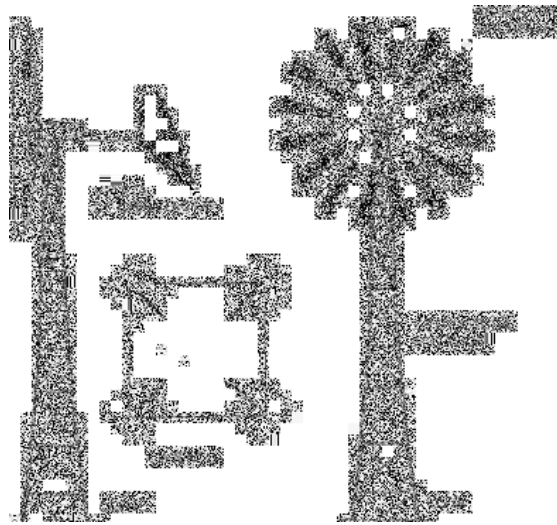


Fig. 2.16. Esquema Aerobomba.

Fuente: www.molinosdeviento.com.

La Aerobomba es una máquina que transforma la energía cinética del viento en energía aprovechable. Esta energía proviene de la acción de la fuerza del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad. Cuando el eje se conecta a una carga, como una bomba, recibe el nombre de Aerobomba, si se usa para producir electricidad se le denomina aerogenerador. Esta bomba dispone de un pistón y un sistema de válvulas que, de forma coordinada con el movimiento transmitido por los vástagos, van impulsando el agua por el interior de los tubos hasta la superficie para desembocar en un depósito. Las Aerobombas actuales se han ido construyendo de acero inoxidable o con las aspas formadas con listones de madera que pueden abrirse con los bordes al viento. Las grandes aspas se han ido remplazando por un número mayor de paletas dispuestas en forma de rueda, y la torre soporta la tornamesa que posee una cola de orientación.

Las Aerobombas se mueven por dos procedimientos: el arrastre, en el que el viento empuja las aspas, y la sustentación, en el que las aspas se mueven de un modo parecido a las alas de un avión a través de una corriente de aire.

2.2.16.1.- Funcionamiento de la Aerobomba.

La Aerobomba transforma la energía eólica en energía mecánica, esta mueve una bomba normalmente de émbolo que trasvasa el agua desde un lugar a otro, aunque estén a distinto nivel.

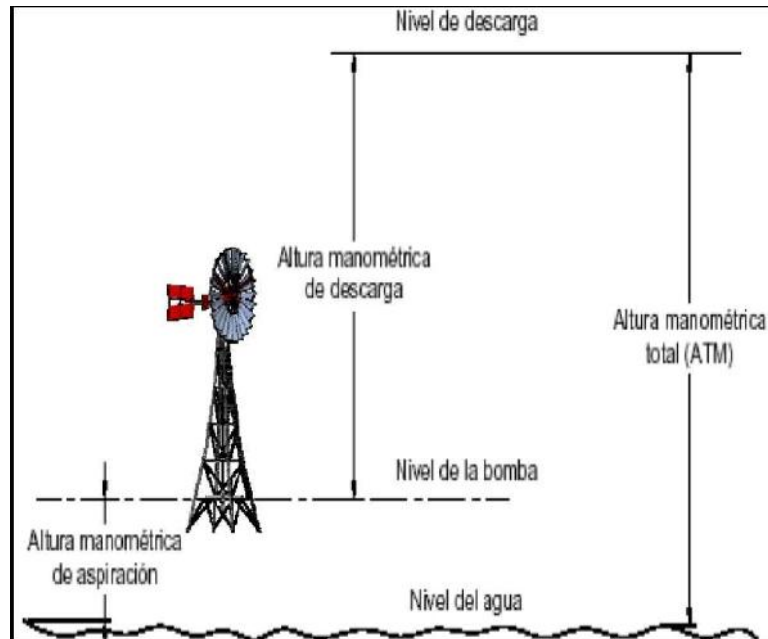


Fig. 2.17. Funcionamiento de la Aerobomba.

Fuente: www.aerobombas.com.

La Aerobomba aprovecha la energía eólica por medio de grandes aspas o paletas acopladas a un eje. Las aspas se colocan en ángulo con respecto a la dirección de las corrientes de viento naturales, pudiendo girar en círculo aun cuando se encuentren perpendiculares a su fuente de energía.

2.2.16.2.-Sistemas de bombeo eólico.

Un gran número de sistemas de captación de energía eólica han sido patentados, algunas veces puestas a punto y realizados a nivel de prototipo; no obstante, pocos de ellos se han generalizado.

Efectivamente, desde el momento en que se dispone de un artefacto que permita originar unas fuerzas simétricas con relación a un eje, se puede obtener un movimiento (de rotación, de traslación, bombeo)

2.2.16.3.-Molino de viento multipala tradicional.

Este es el más común de los molinos de viento, su desarrollo tuvo lugar entre 1850 y 1930, es conocido comúnmente como el molino de viento americano (American Farm Windpump).



Fig. 2.18. Sistema de bombeo de primera generación.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR

Este tipo de máquina aprovecha la potencia del viento con un rotor compuesto por un rango de doce a veinticuatro palas o más, que mueve una bomba de pistón mediante una barra vertical. El acoplamiento entre el rotor y la barra se realiza por un mecanismo de biela y manivela con reducción por medio de engranes. La utilización de la caja reductora hace más versátil la máquina y la adecuada para trabajar con agua a grandes profundidades.

Por otro lado, la baja velocidad de trabajo hace a la máquina más fiable debido al menor desgaste por fricción de los elementos de la bomba y disminuyen las roturas por fatigas. El diámetro del rotor de estos molinos oscila entre 2 y 5 m, pudiendo llegar excepcionalmente hasta 10 m. Estas máquinas pueden ser instaladas en sitios con bajas velocidades del viento, entre 2 y 5 m/s.

2.2.16.4.-AERO BOMBAS DE SEGUNDA GENERACION.

A pesar de las bondades de estos molinos, poseen una serie de problemas, como son:

La construcción es muy pesada debido a las necesidades del alto par de arranque (torque) requerido por la bomba, y en otros casos por el uso de una tecnología de fabricación obsoleta, lo que influye en los altos costos, tanto de la propia máquina como en el transporte e instalación.

El molino de viento debe ser ubicado sobre el pozo o cercano a él; es decir, no tiene flexibilidad para instalar separadamente el rotor y la bomba. Esto ocasiona serios problemas en el caso de terrenos que no son llanos.

Tiene poca resistencia al polvo y a la arena que penetran en el mecanismo de transmisión. Y el agua salubre puede reducir considerablemente la vida útil de los sellos de la bomba (de 6 a 12 meses). La tecnología no es fácil de reproducir en países con bajo desarrollo industrial.

La eficiencia general es muy baja, principalmente debido al pobre diseño del rotor, al incorrecto acoplamiento entre el par entregado por el rotor necesitado por la bomba, y el comportamiento del par de la bomba de simple efecto, caracterizado por una alta razón entre el par máximo y el par promedio (pulsación del par). La eficiencia global promedio, definida como la razón entre la energía hidráulica neta producida y la energía disponible en el viento, se encuentra normalmente entre 2 y 5 %.

Los objetivos del diseño de estas nuevas Aerobombas son, esencialmente, más bajo coste inicial, menor peso de la estructura, mayor eficiencia, y manufactura, producción y mantenimiento locales.

Estas modernas Aerobombas de bajo peso trabajan también con bombas de pistón y se caracterizan por el uso de materiales estándar, disponibles en el mercado (rodamientos, tuberías, angulares, etc.), la ausencia de elementos de fundición y de cajas reductoras.

Otro parámetro fundamental para disminuir el peso y el coste es la reducción del par de arranque de la bomba, lo que permite la utilización de pocos álabes (de 3 a 8 álabes para bajas cargas), por medio de un pequeño orificio en el pistón; de esta forma el par de arranque es casi nulo y la velocidad del rotor aumenta. El efecto de fuga de líquido por el orificio es despreciable.



Fig. 2.19. Sistema de bombeo de segunda generación.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR

La eliminación de la caja reductora hace que la bomba trabaje con mayor velocidad, lo que aumenta las cargas sobre la bomba y disminuye la vida útil si la máquina no ha sido diseñada adecuadamente. La vida útil estimada de estas máquinas es de sólo diez años, lo que contrasta apreciablemente con el molino tradicional, que en muchos

casos alcanza más de cincuenta años. Una de las desventajas fundamentales de este tipo de máquinas es que sólo son capaces de trabajar a bajas cargas, como consecuencia de las transformaciones del rotor y la transmisión.

2.2.16.5.- Aerobombas de manufactura informal.

Este tipo de Aerobomba se caracteriza por su simplicidad, y por su fabricación y explotación con materiales disponibles.

Los diseños pueden ser originales o modelos simplificados según los existentes, para adaptarlos a las disponibilidades locales.

Los materiales de construcción son de gran variedad. Pueden emplearse, por ejemplo, madera u otros materiales que se trabajan de forma artesanal con un mínimo de facilidades. La mayor parte de estas Aerobombas no usan caja reductora de velocidad, sino simplemente un cigüeñal rudimentario o un sistema de leva.



Fig. 2.20. Sistema de bombeo de manufactura informal.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR

No obstante, la fiabilidad y el comportamiento resultan pobres en la mayor parte de los casos. Las ventajas son los bajos costos y el fácil mantenimiento por el propio usuario.

La aplicación de estas máquinas está restringida para bajas cargas.

2.2.16.6.- Aerobombas no convencionales.

Bajo esta denominación se agrupan las Aerobombas cuyo diseño y formas exteriores de los tipos antes mencionados. Sus inventores, buscando máquinas más eficientes y simples a la vez, utilizan tecnologías de última generación, resultantes de investigaciones científicas en el campo de la aerodinámica, los nuevos materiales, la hidráulica, la mecánica, etc., que aportan como resultado máquinas típicas. En este grupo se encuentran también las Aerobombas que retoman patentes que fueron desechadas en su momento y que pueden, con los adelantos de la ciencia, reutilizarse y mejorarse. Ejemplo de las primeras son las Aerobombas tipo Delta, varias de ellas instaladas y en operación en el Centro Integrado de Tecnología Apropiable (CITA), de Camagüey.

Esta es una máquina con aletas en forma de delta, muy diferentes a las aspas que mueven los molinos tradicionales, porque son más cortas, se distribuye un número mayor y se ubican en el perímetro del rotor.



Fig. 2.21. Sistema de bombeo no convencional tipo Savonius.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR

Los resultados alcanzados indican mayor entrega de agua en las mismas condiciones que otras Aerobombas similares.

Al segundo grupo pertenecen los conocidos molinos tipo Savonius, máquina patentada a principios del siglo XIX y retomada en los comienzos de la crisis petrolera de los años setenta, que por su alto torque de arranque permite extraer agua de mayores profundidades. Son, además, muy simples y fáciles de fabricar.

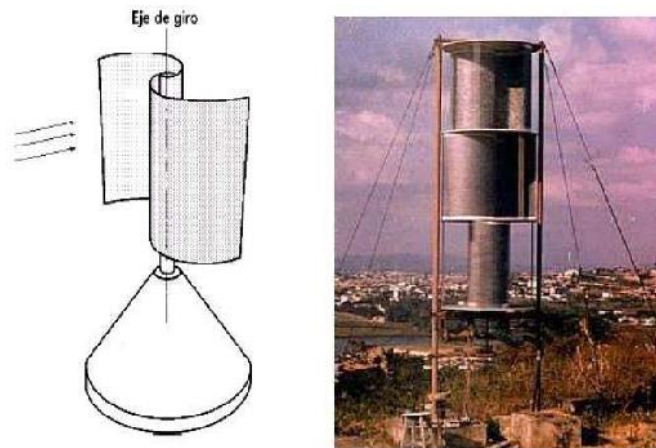


Fig. 2.22. Sistema de bombeo no convencional tipo Savonius.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR

2.2.16.7.-Sistema avanzado de bombeo eólico-eléctrico.

En los países desarrollados hay un gran número de productores de aerogeneradores que recomiendan el uso de sus equipos acoplados a electrobombas para el traslado de líquidos, los denominados sistemas avanzados de bombeo eólico-eléctrico.

Estos se componen de un aerogenerador que produce potencia eléctrica y alimenta al motor eléctrico, el cual mueve una bomba con baterías o sin ellas, y otros equipos de conversión de potencia.



Fig. 2.23. Sistema de bombeo eólico – eléctrico.

Fuente: Tecnologías energéticas renovables CENSOLAR

Las principales ventajas con respecto a los sistemas mencionados anteriormente son: Mayor flexibilidad en cuanto a la ubicación; o sea, se puede ubicar el aerogenerador en el lugar de más fuerte viento, aun cuando éste no coincida con el lugar del pozo.

- Mayor eficiencia de bombeo (de 10 a 12 %).
- Incremento del volumen de agua bombeada y mayores cargas (de 10 a 40 m) debido a la posibilidad de usar rotores de mayor diámetro.
- Mayor versatilidad en su uso (bombeo, iluminación).
- Menor requerimiento de mantenimiento.
- Mayor fiabilidad.

Las desventajas principales son:

- Mayor coste de la inversión inicial.
- Para la instalación y el mantenimiento se necesita personal especializado.
- Necesita mayores velocidades del viento para operar ($v > 4 \text{ m/s}$).

La clasificación expuesta intenta sistematizar la amplia gama de molinos de viento que se producen en la actualidad. Y se puede concluir que los sistemas avanzados de bombeo eólico-eléctrico son más adecuados para regímenes de viento entre medios y altos, y uso de gran potencia; mientras que los sistemas mecánicos resultan más convenientes para regímenes de viento entre bajos y medio, y aplicaciones de baja potencia.

2.2.17.-Elementos de un sistema de aerobombeo.

2.2.17.1.-El rotor eólico.

El cual extrae la energía cinética del viento y la convierte en energía rotacional. La energía rotacional mecánica en el eje del rotor eólico es convertida en un movimiento oscilatorio ascendente descendente a través de la transmisión. La cual consiste en un sistema biela-manivela para excitar el vástago que mueve la bomba de pistón con acción directa.

El rotor es la parte más importante de los autogiros, se puede definir como un "Sistema de perfiles aerodinámicos giratorios", sobre estos perfiles actúa fuerzas estáticas, fuerzas dinámicas y fuerzas aerodinámicas.

a) Fuerzas estáticas. - Son las que actúan sobre el rotor aun cuando está parado y dependen de la buena geometría del rotor.

b) Fuerzas dinámicas. - Actúan sobre el rotor desde el mismo instante que este empieza a girar sobre su eje, la más importante es la fuerza centrífuga.

c) Fuerzas aerodinámicas. - Son las actúan sobre el rotor por la acción del viento relativo sobre las palas.

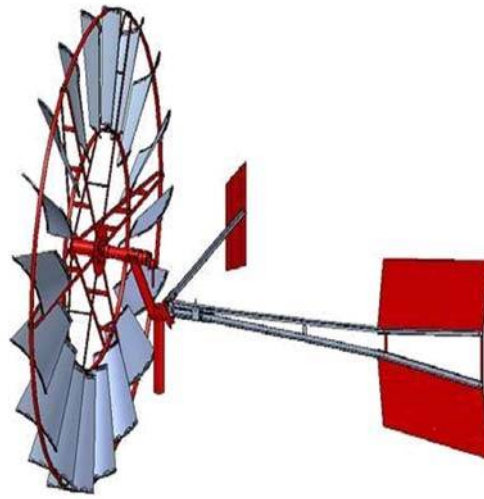


Fig. 2.24. Cabezote del molino de viento.

Fuente: JOBER molinos de viento para bombeo de agua.

2.2.17.2.- Sistema de Transmisión.

Mecanismo biela-manivela acoplado directamente al eje del rotor. La transmisión convierte el movimiento rotacional del rotor en movimiento trasnacional alternativo vertical en el vástago de la bomba, el rotor está solidario al sistema de transmisión por medio de un disco, la conexión del movimiento del eje a la bomba se realiza mediante un mecanismo de biela manivela montado directamente sobre el eje del rotor que produce un desplazamiento oscilante en sentido vertical del émbolo.

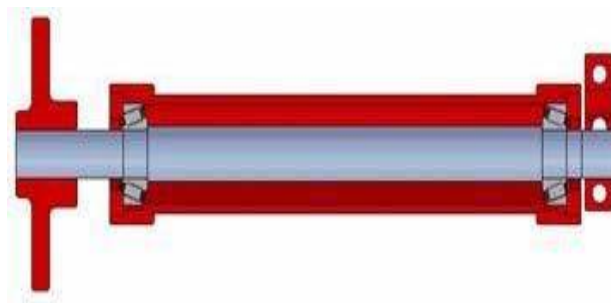


Fig. 2.25 Sistema de transmisión.

Fuente: JOBER molinos de viento para bombeo de agua.

2.2.17.3.- Mecanismo de orientación o veleta.

Mantiene la Aerobomba frente al viento, pero lo desorienta cuando el viento sopla muy fuerte y se recupera progresivamente cuando disminuye la fuerza del viento.

Es un sistema mecánico, perfectamente balanceado y paralelo al suelo actuando así de contrapeso del rotor para equilibrio del equipo.

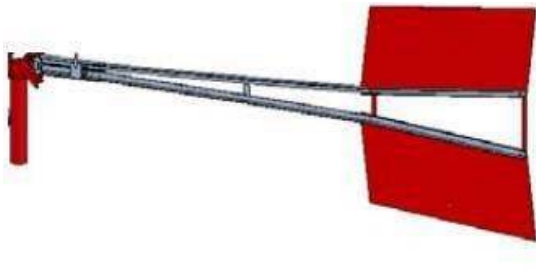


Figura 2.26. Mecanismo de orientación.

Fuente: JOBER molinos de viento para bombeo de agua.

2.2.17.4.-Palas (aspas) del Rotor.

Capturan la energía del viento y transmiten su potencia hacia el mecanismo biela manivela. Los componentes de una Aerobomba de eje horizontal son las palas, elemento fundamental que capta la energía del viento, mediante la acción de fuerzas aerodinámicas que transmiten su giro al eje.

2.2.17.5.-Estructura de Soporte.

La estructura de soporte generalmente es metálica, debiendo diseñarse especialmente para soportar la acción del viento más desfavorable, siendo sustentada por bases de hormigón.

2.2.17.6.-Ventajas de las aerobombas.

Suministro eficaz y confiable de agua. Son tan eficaces como sistemas de bombeo por motobombas. Son una buena opción cuando la necesidad de agua es poca. Es una tecnología que se ha ido mejorando, mantenimiento mínimo.

2.2.17.7.-Características técnicas de las Aerobombas.

Rotor multipala situado a barlovento con un número de palas variable según el diseño. Diámetro del Rotor según potencia y velocidad del viento. Dispositivos de control de velocidad de giro, orientación. Bomba de émbolo fabricada con acero inoxidable, la bomba es accionada desde el rotor a través de una varilla, que va por el interior del tubo que conduce el agua hasta la superficie.

2.2.17.8.-Parámetros generales de diseño.

Los parámetros a tener en cuenta son las siguientes:

Magnitud de la instalación (micro, pequeña, mediana o grande).

Tipo de Aerobomba.

Caudal mínimo a instalar.

Estudio anemométrico.

Facilidad de construcción y montaje.

Costos.

Masa aproximada (máquina, Aerobomba).

2.2.18.-Aplicaciones de Aerobombas.

Como se ha visto las Aerobombas son las encargadas de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica que ponga en movimiento algún sistema. El más habitual es mover una bomba de pistón para bombear agua de un pozo.

Es decir, las Aerobombas son una buena solución para el riego en la mayoría de los casos, si la Aerobomba se ha fabricado según las condiciones de viento reinantes en el lugar de la instalación, velocidad de viento y caudal a suministrar.

2.2.19.-Bombas.

Una Bomba hidráulica es un dispositivo que recibe energía mecánica de un motor impulsor y transfiere esta energía a un fluido que la atraviesa. Las bombas son máquinas usadas para mover fluidos a través de tuberías mediante diferentes transformaciones de energía.

La rotación del impulsor en el interior de la bomba crea un vacío dando lugar a una fuerza de succión que favorece la entrada del fluido en la bomba, dentro de la bomba se incrementa la velocidad del fluido. El fluido que trae velocidad y por tanto energía en forma de energía cinética es expandido en el difusor de la bomba transformando la energía cinética en energía de presión al reducirse la velocidad del líquido.

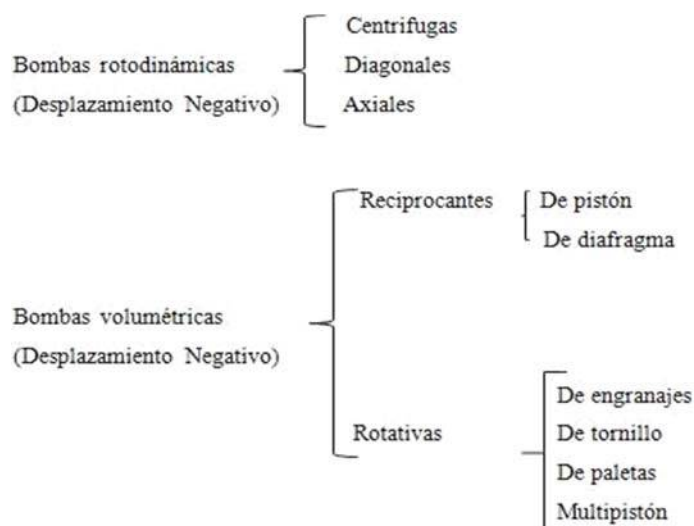
2.2.19.1.-Selección de una bomba hidráulica

Las bombas deben seleccionarse según el concepto del trabajo a realizar con base a:

- Presión máxima de trabajo.
- Rendimiento de la bomba.
- Precisión y seguridad de operación.
- Fácil mantenimiento.
- Máximo flujo.

2.2.19.2.-Clasificación de las bombas hidráulicas

Existen muchos tipos de bombas y diferentes maneras de clasificarlas. La clasificación más difundida es la que reúne a dos grupos principales de bombas: las rotodinámicas (desplazamiento negativo) y las volumétricas (de desplazamiento positivo). En las bombas rotodinámicas la energía es continuamente suministrada al fluido incrementando su velocidad, luego esa velocidad es reducida en el difusor de la bomba, produciendo un incremento de presión. En las bombas de desplazamiento positivo la energía es periódicamente suministrada al fluido por la aplicación de fuerza directa sobre un volumen de líquido el cual incrementa su presión al valor requerido para moverse en la tubería de descarga. Para una clasificación de los diferentes tipos de bombas hidráulicas, debemos conocer los términos más importantes para evaluar sus méritos.



Amplitud de presión. - Son los límites máximos de presión con los cuales una bomba puede funcionar adecuadamente.

Volumen. - Es la cantidad de fluido que una bomba puede entregar a la presión de operación.

Amplitud de la velocidad. - Se constituyen en los límites máximos y mínimos en los cuales las condiciones a la entrada y soporte de la carga permitirán a la bomba funcionar satisfactoriamente.

Eficiencia mecánica. - Se puede determinar mediante la relación entre el caballaje teórico a la entrada, necesario para un volumen específico en una presión específica y el caballaje real a la entrada necesario para el volumen específico a la presión específica.

Eficiencia volumétrica. - Se determina mediante la relación entre el volumen teórico de salida y el volumen real a cualquier presión asignada.

Eficiencia total. - Se puede determinar mediante el producto entre la eficiencia mecánica y la eficiencia volumétrica.

Bomba de pistón.

Son utilizadas generalmente en la industria por su alto rendimiento y por la facilidad de poder trabajar a presiones superiores.

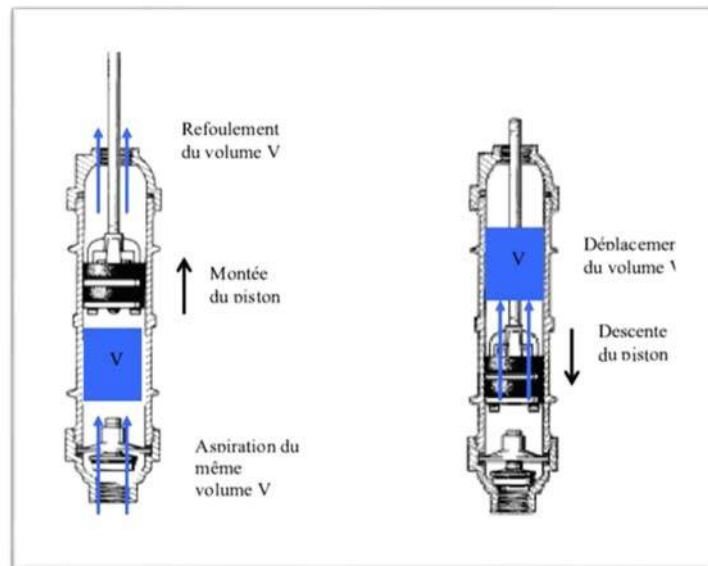


Fig. 2.27. Esquema de funcionamiento de una bomba de pistón

Fuente: www.bombas.com

2.2.19.3.-Clasificación de las bombas de pistón

Debido a la gran variedad de las bombas de pistón, estas pueden clasificar:

- **Bomba de pistón radial.** - El pistón se desliza dentro del cuerpo de la bomba que gira alrededor de una flecha.
- **Bomba de pistón axial.** - El pistón se mueve dentro y fuera sobre el plano paralelo al eje de la flecha impulsora.
- **Bomba de pistón de barril angular.** - Las cargas para impulsión de la bomba y las cargas de empuje por la acción del bombeo van soportadas por tres cojinetes de bolas de hilera simple y un cojinete de bolas de hilera doble.
- **Bomba de pistón de placa de empuje angular.** - Este tipo de bomba incorpora zapatas de pistón que se deslizan sobre la de leva.

2.2.19.4.- Aplicaciones de la Bomba de Pistón

Esta es la aplicación más habitual de las bombas de pistón, en las que se utiliza para bombear el fluido hidráulico que después accionará los diversos mecanismos.

2.2.19.5.- Selección de bombas

Se selecciona una bomba que opere con un rendimiento relativamente alto para las condiciones de funcionamiento dadas. Los parámetros que se deben investigar incluyen la velocidad específica, el tamaño del impulsor y la velocidad de operación.

2.2.19.6.-Características de las bombas

Las características hidráulicas son inherentes a cada tipo de bomba y están influidos por la densidad, viscosidad, tipo de accionamiento y tipo de control.

Las características mecánicas de las bombas son definidas por las condiciones de pérdidas, potencia y rendimiento.

2.2.19.7.-Pérdidas

Las pérdidas de energía dentro de las bombas pueden clasificarse como:

- **Pérdidas volumétricas.** - Producidas debido a la existencia de pequeñas separaciones entre la carcasa y el impulso por donde pueden presentarse fugas.
- **Pérdidas hidráulicas.** - Consiste en pérdidas por fricción que se producen en la circulación del agua.
- **Pérdidas mecánicas.** - Son originadas por fricción mecánica en la parte fija móvil de la bomba, creados por el líquido.

2.2.19.8.- Potencia.

Para determinar la potencia absorbida por el motor, se divide la potencia absorbida por la bomba entre la eficiencia del motor

$$P_m = \frac{P_i}{\eta_m} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Dónde:

P_i = potencia absorbida por la bomba

P_m = potencia del motor

η_m = rendimiento de motor

2.2.19.9.-Rendimiento de la bomba.

El rendimiento de una bomba generalmente varía entre 60 % y 90 %. La eficiencia de una bomba se mide en base al caudal que se descarga contra una altura dada y con un rendimiento determinado.

El rendimiento de la bomba viene dado por:

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{P_i} = \frac{\gamma Q H_t}{75 P_i} \quad \text{EC. 2.5}$$

Dónde:

P_i = Potencia absorbida (HP)

γ = Peso específico del líquido a ser bombeado.

Q = Caudal (m^3/s)

H_t = Altura manométrica (m)

η = Rendimiento de la bomba

2.2.19.10.-Rendimiento volumétrico

El rendimiento volumétrico expresa las fugas de líquido que hay en la bomba durante el proceso de compresión, fugas que se deben a las holguras existentes en el interior de los componentes de la bomba.

El rendimiento volumétrico es un factor de la bomba muy importante, pues a partir de él se puede analizar la capacidad de diseño y el estado de desgaste en que se encuentra una bomba, así si el rendimiento volumétrico disminuye con una alta tasa de cambio, el desgaste de sus elementos ya es demasiado.

El rendimiento volumétrico se ve afectado también por la presión del fluido hidráulico que se transporta y también por la temperatura del mismo.

□ **Rendimiento mecánico.** - El rendimiento mecánico mide las pérdidas de energía mecánica que se producen en la bomba, debidas al rozamiento y a la fricción de los mecanismos internos. Es esencial evitar la fricción y el rozamiento en el interior de la bomba de tal manera que la energía que se comunica al eje de la bomba se invierta en el mayor grado posible en aumentar la presión del líquido y no en vencer rozamientos y fricciones excesivas entre las partes mecánicas de la bomba.

□ **Rendimiento total o global.** - El rendimiento total o global es el producto de los rendimientos volumétrico y mecánico. Se llama total porque mide la eficiencia general de la bomba en su función de bombear líquido a presión, con el aporte mínimo de energía al eje de la bomba.

Así pues, el rendimiento total se expresa como el consumo de energía necesario para producir la presión hidráulica nominal del sistema.

2.2.20.- Selección de la aerobomba.

Hay varios tipos de bombas y rotores, pero se enfocan a los que satisfagan los requerimientos para poder lograr nuestros objetivos con mejores resultados y a un bajo costo. La Aerobomba se escoge en función de las necesidades del caudal de agua, características del terreno y la altura de bombeo, por cuanto posibilita seleccionar o especificar la máquina idónea para realizar el trabajo con la finalidad de diseñar el modelo más conveniente para su construcción.

Parámetros.

Se consideran los siguientes parámetros para la selección de Aerobomba a utilizar, dependiente del funcionamiento.

Dentro de los parámetros se tiene:

- ☐ Velocidad del viento.
- ☐ Rendimiento.
- ☐ Peso.
- ☐ Costo de construcción.
- ☐ Vida útil.
- ☐ Facilidad de montaje.
- ☐ Facilidad de mantenimiento.

Velocidad del viento.

Los datos de velocidad de viento serán tomados en el lugar que se vaya a implementar este sistema con aparatos meteorológicos (anemómetros), para nuestro estudio se realizó la adquisición de una pequeña estación meteorológica.

Rendimiento de una aerobomba.

El rendimiento tiene muchas variantes dependiendo de los factores que intervienen en su correcto funcionamiento:

- ☐ Velocidad del viento.
- ☐ Área de barrido del rotor.
- ☐ Tipo de rotor de la Aerobomba.
- ☐ Caudal entregado.

Estos elementos característicos de estudio no pueden ser considerados separadamente, y deben ir analizados en un contexto global, a fin de obtener una máquina con mejor rendimiento.

Peso de la Aerobomba.

El peso en las Aerobombas es de gran importancia ya que está relacionado con todos los elementos, los cuales serán apoyados en la torre.

Costo de construcción de Aerobomba.

Existen varios tipos de Aero bombas ya sea por su disposición de sus partes, así como los materiales con los que son contruidos, de estos dos factores dependen principalmente los costos de construcción y mantenimiento.

Facilidad de mantenimiento.

La vida útil de una bomba de tipo eólico se estima entre 10 y 15 años, con el mantenimiento de las partes móviles de la máquina, y del recubrimiento que se aplique a las partes externas como pintura corrosiva para evitar el deterioro por causas climáticas, éste se realiza con herramienta sencilla y puede ser hecho por el usuario reduciendo los costos operativos del equipo.

CAPÍTULO III:

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente tesis se engloba a un tipo de investigación descriptiva, donde buscamos diseñar una aerobomba, con fines de riego para el sembrío de papaya en el sector Acerillo, con el fin de menorar los costos de producción por hectárea de cultivo de Papaya.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Se describe el estudio del viento, un elemento básico para el accionamiento de las palas del aerogenerador y de esta manera realizar un buen diseño de la aerobomba.

La escala de viento de Beaufort (1806) es una escala numérica que fue diseñada por el hidrógrafo de la Marina Real Británica Sir Francis Beaufort. Se trata de un sistema usado para estimar la velocidad del viento que tiene como unidad de medida, el Número de Beaufort que se compone de tres partes:

La velocidad del viento, B_f

Un término descriptivo

Los efectos visibles en la superficie marina o sobre los objetos en tierra

Se basa en la observación de los efectos de los vientos para determinar su velocidad, que es expresada en valores B_f , es decir se tienen valores de velocidad de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 B_f . Se trata de una medida subjetiva de la velocidad de viento, ya que esta escala no asigna valores medibles, como pueden ser m/s. La escala es la siguiente, se muestra primero la cifra Beaufort y su nombre descriptivo seguido de los efectos que produce en alta mar:

0 calma → Mar como un espejo

1 ventolina → Rizos como escama de pescado, pero sin espuma.

2 flojito → Pequeña ola, crestas de apariencia vítrea, sin romperse

3 flojo → Pequeña ola, crestas rompientes, espuma de aspecto vítreo aislados vellones de espuma

4 bonancible-moderado → Pequeña ola creciendo, cabrilleo numeroso y frecuente de las olas

- 5 fresquito → Olas medianas alargadas, cabrilleo (con salpicaduras)
- 6 fresco → Se forman olas grandes, crestas de espuma blanca (salpicaduras frecuentes)
- 7 frescachón → El mar crece, la espuma blanca que proviene de las olas es arrastrada por el viento
- 8 temporal → Olas de altura media y más alargadas, del borde superior de sus crestas comienzan a destacarse torbellinos de salpicaduras
- 9 temporal fuerte → Grandes olas, espesas estelas de espuma a lo largo del viento, las crestas de las olas se rompen en rollos, las salpicaduras pueden reducir la visibilidad
- 10 temporal duro → Olas muy grandes con largas crestas en penachos, la espuma se aglomera en grandes bancos y es llevada por el viento en espesas estelas blancas en conjunto la superficie está blanca, la visibilidad está reducida
- 11 temporal muy duro → Olas de altura excepcional, (pueden perderse de vista tras ellas barcos de tonelaje pequeño y medio), mar cubierta de espuma, la visibilidad está reducida.
- 12 temporal huracanado → Aire lleno de espuma, salpicaduras, mar cubierto de espuma visibilidad muy reducida

3.3. FORMULACION DE LA HIPOTESIS

Las hipótesis se pueden plantear de la siguiente manera:

¿Mediante un diseño eficiente de una Aero bomba para riego tecnificado aprovechando la energía eólica para el sembrío de papaya, se podrá satisfacer la demanda en la localidad de Acerillo?

3.4 VARIABLES – OPERACIONALIZACION

Una variable el viento, viene caracterizado por dos magnitudes: velocidad y dirección. La **velocidad del viento** mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinado, se mide mediante un anemómetro. La unidad de medida es metro por segundo (m/s).

En el cálculo de velocidades de viento es frecuente que aparezca la necesidad de extrapolar datos, normalmente los datos medidos de los que se dispone corresponden a alturas de 2 o 10 m, como es el caso que nos ocupa. Y puede resultar útil trabajar con todos los datos a una misma altura para lo que es necesario tomar una altura como referencia y calcular el resto de los datos a esa altura por extrapolación.

Es habitual también utilizar las leyes de extrapolación para obtener datos de velocidad de viento a alturas superiores a las que no se tienen medidas, como pueden ser las alturas a las que se sitúan aerobombas, alturas de 40, 50 o 90 metros.

3.4.1. Indicadores estadísticos

El empleo de indicadores estadísticos es muy habitual en observaciones atmosféricas en general. Algunos indicadores típicos empleados son la media aritmética, la desviación estándar, el sesgo o la curtosis.

Se emplean además otros indicadores cuando se desea que estos sean menos sensibles a la distribución de los datos o a la presencia de valores anómalos o extremos para evitar que pudieran enturbiar los resultados obtenidos. Se trata de unos indicadores más robustos como son la mediana, el rango intercuartílico, el sesgo robusto o asimetría robusta y el coeficiente de curtosis robusta.

3.4.1.1.- Mediana

La **mediana** es la medida más robusta, resistente y más común de la tendencia central de la distribución de datos. A diferencia de la media no se ve afectada por valores extremos que pudieran ser anómalos. Es el valor del segundo cuartil, $q\ 0.5$, para un número N impar de datos y se puede expresar de la siguiente forma:

$$\bar{v} = v * \frac{N+1}{2} \quad \text{E.C. 3.1}$$

Se expresa de la siguiente manera en el caso de un número N par de datos:

$$\bar{v} = \frac{v_{N/2} - v_{(N/2)+1}}{2} \quad \text{E.C. 3.2}$$

Donde N/2 es el valor central de los datos.

Los **cuartiles** son los tres valores de la variable que dividen un conjunto de datos en cuatro partes iguales, es preciso que los datos de dicho conjunto estén ordenados de menor a mayor.

3.4.1.2-Desviación estándar

La **desviación estándar** da cuenta de la dispersión de los datos respecto a su media. Es la raíz cuadrada de la varianza, siendo la varianza igual al momento de orden 2 con respecto a la media o momento central de orden 2.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{r=1}^N (V_i - \bar{v})^2} \quad \text{E.C.3.3}$$

Es un indicador equivalente al rango intercuartílico que se muestra a continuación, pero menos robusto que este.

3.4.1.3.-Rango intercuartílico (IQR)

El rango intercuartílico (IQR) es la medida más común y más simple, además de ser una medida robusta y resistente a la dispersión de los datos, es una medida de la dispersión estadística. Es igual a la diferencia entre los cuartiles superior e inferior, su expresión es la siguiente:

$$IQR = v_{0.75} - v_{0.25} \quad \text{E.C. 3.4}$$

Es un buen indicador de la dispersión en la parte central de un conjunto de datos ya que está referido únicamente al rango del 50% central de los datos. No considera el 25% superior e inferior de los datos, lo que hace que sea muy resistente a valores atípicos.

3.4.1.4.-Sesgo

El sesgo cuantifica la asimetría de la distribución de los datos. Es igual a cero en el caso de la distribución normal, menor que cero si la distribución presenta asimetría negativa, hacia la derecha y mayor que cero si presenta asimetría positiva, hacia la izquierda.

$$S_{esgo} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^3}{\sigma^3} \quad \text{E.C. 3.5}$$

Se emplea el momento de orden 3 con respecto a la media en el cálculo del coeficiente de asimetría.

La **asimetría robusta** es equivalente al sesgo, siendo esta un índice robusto. Estará en un rango entre -1 y +1, su expresión matemática es la siguiente:

$$Asimetría = \frac{v_{0.75} + v_{0.25} - 2\bar{v}}{v_{0.75} - v_{0.25}} \quad \text{E.C. 3.6}$$

3.4.1.5.-Curtosis

La curtosis sirve para determinar el grado de aplanamiento de la distribución (respecto de la normal). Siendo igual a cero en el caso de la distribución normal, menor que cero si la distribución es aplanada y mayor que cero si es apuntada.

Se emplea el momento de orden 4 con respecto a la media (centrado) en el cálculo de la curtosis.

$$Curtosis = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^4}{\sigma^4} \quad \text{E.C. 3.7}$$

3.4.1.6.- Curtosis Robusta

La curtosis robusta es el indicador robusto análogo a la curtosis. En el caso de la distribución normal su valor es 0.263.

$$Curtosis = \frac{v_{0.75} - v_{0.25}}{2(v_{0.90} - v_{0.10})} \quad \text{E.C. 3.8}$$

En la expresión anterior aparecen el decil primero y el noveno, y los deciles son los nueve valores que dividen la serie de datos en diez partes iguales, para su obtención es necesario que la serie de datos esta ordenada de menor a mayor.

3.5. METODOS Y TECNICAS DE INVESTIGACION

La Distribución de Weibull

La distribución de Weibull, desarrollada detalladamente en 1951 por el sueco Waloddi Weibull del que toma su nombre (Weibull, 1951) es una distribución típicamente utilizada en meteorología especialmente en el análisis de la velocidad de viento. Su expresión matemática es la que se muestra a continuación.

$$f_{(v)} = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad \text{E.C. 3.9.}$$

Válida para valores de la variable v iguales o mayores que cero, valores positivos, y valores de los parámetros k y c mayores que cero. Donde k es el parámetro de forma, se trata un parámetro adimensional de la distribución de Weibull y c es el parámetro de escala, cuyas dimensiones dependerán de las variables tomadas en cada caso. En este caso la variable que se emplea es la velocidad de viento, v y los valores que toma $f(v)$ indican la probabilidad de observar cada velocidad del viento v . El parámetro k representa el rango de variación de la velocidad del viento durante un período de tiempo y c tendrá unidades de m/s y está relacionado con la media de la velocidad del viento v . Debido a estos dos parámetros ajustables puede tomar formas muy variadas, lo que le confiere gran versatilidad y capacidad de adaptarse a las diferentes formas de los datos más fácilmente. Tiene por tanto una mayor flexibilidad frente a otras distribuciones como pueden ser la exponencial, la normal o Gaussiana, o la Gamma que pueden ser consideradas casos especiales de la distribución de Weibull para valores concretos de los parámetros de esta. A continuación, se representa la distribución para un valor del parámetro de escala c fijo, en este caso se ha representado para $c = 2$, y diferentes valores del parámetro de forma k . En ella se aprecian la gran diferencia en la forma que toma la distribución en cada caso. En particular, para valores de k superiores a 3.6 se aproxima a la distribución gaussiana.

Además, un valor de k próximo a 1 corresponde a un régimen de viento altamente variable, cuando se sitúa alrededor de 2 el régimen presenta cambios moderados, mientras que valores superiores a 3 corresponden a vientos más regulares.

Su correspondiente **función de distribución acumulativa** presenta la siguiente expresión matemática:

En algunas ocasiones se emplea la función de Weibull de tres parámetros, (Cousineau, 2009) dependiente de un tercer parámetro que es el parámetro de localización, b . Este parámetro lo que hace es desplazar la función a lo largo del eje horizontal. Su expresión matemática es la siguiente.

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad \text{E.C. 3.10.}$$

3.5.1. Métodos de cálculo del parámetro de forma y de escala

Existen numerosos métodos diferentes para realizar el cálculo de los parámetros de forma, k , y escala, c , de la distribución de Weibull. En general resultan todos ellos equivalentes, variando entre sí su metodología y complejidad. Se escoge uno u otro en función de la comodidad de los cálculos que se precisen en el análisis que se esté llevando a cabo en cada caso.

A continuación, se van a detallar brevemente algunos de los métodos que se emplean, como son el método de regresión lineal, el método de los momentos, el de los momentos de probabilidad ponderada, el método de máxima probabilidad, el de máxima probabilidad modificado, el método de los cuartiles (Pérez et al, 2004; 2007) y también el método de energía equivalente (Solyali, 2015).

Todos ellos son empleados frecuentemente en cálculos de velocidad de viento, el último de ellos puede ser utilizado además para el cálculo de la densidad de potencia media.

a) Método de regresión lineal

Partiendo de la función de distribución acumulativa y tomando el logaritmo dos veces se obtiene la expresión:

$$\ln\{\ln[1 - F(v)]\} = k \ln(v) - k \ln c \quad \text{E.C.3.11}$$

De donde se pueden obtener los dos parámetros k y c por regresión, se trata de un método gráfico. Se representa el doble logaritmo de $1 - F(v)$ como variable x frente al $\ln(v)$ como variable y , de la pendiente ($1/k$), se extrae el parámetro k y de la ordenada en el origen, $\ln c$, se extrae c .

b) Método de los momentos

Para la aplicación de este método es necesario el cálculo de la media de las velocidades y su desviación estándar, una vez obtenidas se aplica la siguiente ecuación:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1.086} \quad \text{E.C.3.12.}$$

El parámetro c se puede obtener de la siguiente ecuación despejando como aparece a continuación

$$\bar{v} = cr \left[1 + \frac{1}{k}\right] \rightarrow c = \bar{v} \frac{1}{r \left[1 + \frac{1}{k}\right]} \quad \text{E.C. 3.13.}$$

O puede obtenerse también despejando c de la ecuación siguiente, que implica la desviación estándar en vez de la media:

$$\sigma = c \left(r \left[1 + \frac{2}{k}\right] - r^2 \left[1 + \frac{1}{k}\right] \right)^{1/2} \quad \text{E.C. 3.14.}$$

Será el método elegido en este trabajo para la obtención de los parámetros por ser un método bastante cómodo y directo dado que ya se había hecho previamente el cálculo de la media y la desviación estándar.

c) Método de los momentos de probabilidad ponderada

Los parámetros se extraen de las siguientes ecuaciones:

$$k = \frac{\ln(2)}{L_{2.)(\ln v)} \quad \text{E.C. 3.15.}$$

$$k = e^{\left[L_{1.)(\ln v) + \frac{0.5772}{k}\right]} \quad \text{E.C. 3.16.}$$

Donde y son los momentos primero y segundo del logaritmo de la velocidad de viento cuya expresión se muestra a continuación

$$L_{1.)(\ln v) = \ln v \quad \text{E.C. 3.17.}$$

$$L_{2.)(\ln v) = 2 \sum_{j=1}^N \frac{(N-j)}{N(N-1)} \ln v_j - L_{1.)(\ln v) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\ln v_j - \ln v)^2 \quad \text{E.C. 3.18.}$$

d) Método de máxima verosimilitud

Este es un método directo y no requiere la manipulación previa de datos como puede ser su ordenación y recuento. Los parámetros k y c se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^N v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^N v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^N \ln(v_i)}{N} \right)^{-1} \quad \text{E.C. 3.19.}$$

$$c = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^k \right)^{\frac{1}{k}} \quad \text{E.C. 3.20.}$$

Tiene el inconveniente de que es un procedimiento iterativo que debe ser iniciado con un valor $k = 2$.

e) Método de máxima verosimilitud modificado

Es igual al método anterior, aunque no iterativo, cambiando la forma de obtener k que obedece la siguiente ecuación:

$$k = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \left(\frac{N(N-1)}{N(\sum_{i=1}^N \ln^2 v_i) - (\sum_{i=1}^N \ln v_i)^2} \right)^{0.5} \quad \text{E.C. 3.21.}$$

f) Método de los cuartiles

Es uno de los métodos más directos y sencillos, obedece las siguientes ecuaciones:

$$k = \frac{\ln(\ln 0.25 / \ln 0.75)}{\ln(v_{0.75} / v_{0.25})} \quad \text{E.C. 3.22.}$$

$$c = \frac{v_{0.5}}{(\ln 2)^{1/k}} \quad \text{E.C. 3.23.}$$

Aparecen el primer, segundo y tercer cuartiles, $v_{0.5}$, $v_{0.25}$ y $v_{0.75}$ respectivamente.

g) Método de Energía equivalente

Este método tiene en consideración por una parte los datos reales medidos de velocidad del viento, así como los parámetros de la distribución de Weibull obtenidos por otra parte.

Requiere igualar la densidad de potencia media obtenida a partir de las frecuencias de velocidad de los datos medidos con la densidad de potencia obtenida de los parámetros de la distribución de Weibull.

La expresión de la densidad de potencia media para los datos de velocidad de viento observados (WPD) suponiendo la densidad del aire constante es la siguiente:

$$WPD = \frac{1}{2N} \rho \sum_N v_i^3 \quad \text{E.C. 3.24.}$$

La expresión de la densidad de potencia media de la distribución de Weibull, (WDP) suponiendo también la densidad del aire constante es la siguiente:

$$WDP = \frac{1}{2} \rho c^3 r \left[1 + \frac{3}{k} \right] \quad \text{E.C. 3.25.}$$

Igualando ambas y despejando se obtiene c de la forma:

$$c = \sqrt[2]{\frac{\sum_i^N v_i^3}{Nr \left[1 + \frac{3}{k} \right]}} \quad \text{E.C.3.26.}$$

Para obtener k se sustituye la expresión de c anterior en la ecuación de la distribución de probabilidad acumulativa, de manera que k será la única incógnita y puede obtenerse de la siguiente ecuación:

$$-\ln[1 - F(\bar{V})] = \left(\frac{\frac{\bar{v}}{\frac{\sum_i^N v_i^3}{Nr \left[1 + \frac{3}{k} \right]}}}{\frac{\sum_i^N v_i^3}{Nr \left[1 + \frac{3}{k} \right]}} \right)^k \quad \text{E.C. 3.27.}$$

Se trata de un método mediante el cual se puede calcular también la densidad de potencia media. Será empleado con este propósito más adelante en este trabajo.

3.6. DESCRIPCION DEL INSTRUMENTO UTILIZADO

3.6.1.- Coeficiente de Correlación

El **coeficiente de correlación** en estadística es una medida del grado de relación lineal que existe entre dos variables aleatorias. En el caso de dos variables aleatorias se hacen las siguientes suposiciones (Lothar, 1982):

Las unidades equidistantes de medida para ambas variables. La regresión presenta linealidad.

La normalización de ambas variables.

La primera de ellas es de gran importancia. El hecho de que la segunda no sea cierta no presenta un problema, en este caso el valor de r será una estimación. La tercera de ellas puede ser omitida.

El coeficiente de correlación puede calcularse mediante las expresiones siguientes:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x - \bar{x})^2)(\sum (y - \bar{y})^2)}} \quad \text{E.C. 3.28.}$$

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x - \sum y}{\sqrt{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)}} \quad \text{E.C. 3.29.}$$

El coeficiente de correlación de Pearson es el más comúnmente empleado. La correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables a diferencia de lo que ocurre con la covarianza. Una vez determinado el coeficiente de correlación puede ser necesario establecer un criterio para concluir si existe o no correlación relevante entre las variables, puede llevarse a cabo mediante la consulta de tablas o mediante el cálculo de alguna relación de prueba.

El Test de correlación se emplea para determinar si existe o no correlación, si no es nulo existirá una correlación que habrá que valorar si es relevante. Viene dado por la expresión:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad \text{E.C. 3.30.}$$

Donde t es una variable con la distribución de Student y n el número de datos, en nuestro caso, como se verá más adelante igual a 46.

De donde se puede calcular el coeficiente de correlación r crítico, a partir de la siguiente ecuación.

$$r = \frac{t}{\sqrt{t^2 + n - 2}} \quad \text{E.C. 3.31}$$

En este estudio las variables de las que se quiere calcular la correlación son la altura y los indicadores estadísticos de velocidad de viento, que es la variable aleatoria. Asimismo, se considerará la correlación de los parámetros de la distribución de Weibull y de la densidad de potencia con la altura.

Se precisa determinar si el coeficiente de correlación entre las dos variables obtenido en cada caso es o no significativo. Para ello vamos a calcular el valor del coeficiente de correlación r crítico a partir del cual consideraremos que las dos variables estarán correlacionadas.

Para ello se realiza el test de correlación, a un $p = 0.05$, tomando la función t inversa. Una vez obtenido este valor de t se despeja r para obtener así el valor crítico a partir del cual consideraremos que existe correlación significativa.

Estos valores se presentan en la Tabla 3.1 a continuación.

Test de correlación t y coeficiente de correlación r crítico

Valor de t	r _{crítico}
2,015	0,291

3.7. ANALISIS ESTADISTICO E INTERPRETACION DE LOS DATOS

Se han consultado los datos de estaciones meteorológicas de la provincia de Bagua, Región Amazonas que cuenta con estaciones tanto manuales como automáticas, las estaciones que disponen de registro de la velocidad de viento son únicamente las automáticas como son (Magunchal y el Pintor) el primero que se encuentra ubicado en el distrito de Jamalca, perteneciente a la provincia de Utcubamba, región de Amazonas y el segundo ubicado en el distrito de Bagua Grande, provincia de Utcubamba del región Amazonas.

Una estación meteorológica automática es un equipo de adquisición de datos en el cual los instrumentos efectúan, almacenan y transmiten las observaciones de forma automática, sin que sea necesaria la presencia de personal.

La configuración tipo de una estación automática es:

- Torre o trípode, en el caso de las estaciones a 10 m y 80 m de altura se trata de una estructura de acero galvanizado, con sus tres patas sujetas al suelo con piquetas enterradas y tres brazos que sirven de soporte a los sensores (de temperatura y humedad, de viento y de radiación), en el caso de las estaciones a 10 m y 80 m se trata de una torre en la que se sitúan los sensores de viento.
- Sensores: características para su elección (resolución, etc.) El sensor de velocidad y dirección del viento están dadas por SENAMHI a un rango de medida de 0 a 100 m/s con una precisión de ± 0.3 m/s de 1 a 60 m/s y de ± 1 m/s de 60 a 100 m/s
- Sistema de adquisición de datos: es la unidad encargada del examen de los canales de entrada y salida de las señales de los distintos sensores y de la conversión de estas señales de analógico a digital, que es el formato legible por el ordenador.
- Comunicaciones, realizadas por modem o radio. Su función es transmitir los datos obtenidos. En la actualidad esta comunicación se realiza mediante telefonía móvil GSM.

Funciona gracias a un acumulador alimentado habitualmente por un panel solar o por corriente externa también.

Estas estaciones automáticas frente a las manuales son más consistentes en sus medidas ya que registran datos a mayor frecuencia,

toman datos de forma continuada todos los días. Y se pueden ubicar en zonas aisladas con dificultad de acceso o en lugares inhóspitos. Su utilización surgió de la necesidad de obtener información en dichas ubicaciones.

Su principal inconveniente es la dificultad de automatizar la captación de cierta información como nieve o nubes, por lo que son menos flexibles que los observadores además de la necesidad de una inversión económica.

Se trata de un total de 2 estaciones automáticas (Magunchal y el Pintor), cada estación presenta datos de sus características como son su altitud, longitud (UTM), latitud, propiedad (organismo del que dependen) y fecha de instalación.

A continuación, se muestra el aspecto que tienen las estaciones, la imagen de la izquierda corresponde a la estación de Bagua, estación que recoge datos a 10 m y 80 m.



Figura 3.1. Estación de Magunchal a 10 m
(Amazonas – Utcubamba-Jamalca)



Figura 3.2. El Pintor a 80 m
(Amazonas – Utcubamba),

La extracción de datos se lleva a cabo mediante la descarga directa de la página:[http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/ dat_esta_tipo.php?estaciones=472C574](http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/dat_esta_tipo.php?estaciones=472C574)

Los datos de cada una de las estaciones se encuentran clasificados en ficheros anuales desde que comenzaron a operar y así son descargados. Los datos que se han tomado en el presente trabajo van desde septiembre 2012 hasta octubre 2017. Cada fichero descargado cuenta con información de temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima, humedad relativa media (%), máxima y mínima, precipitación acumulada (l/m²), velocidad media del viento (m/s), dirección del viento (grados). Algunas de las columnas pueden variar de unas estaciones a otras. Datos correspondientes en el otro documento en este solo damos todo el análisis de los cuadros, aquí un ejemplo:

De esos datos se seleccionan los correspondientes a la velocidad de viento a una altura de 80 m.

De esos datos se seleccionan los correspondientes a la velocidad de viento, ya sean a 10 m como a 80 m.

TABLA 3.2. TOMA DE DATOS

	Velocidad a 10m	Velocidad a 80m
<u>30/10/17:</u>	2.3 m/s	4.2m/s
<u>31/10/17:</u>	3.4 m/s	6.7m/s
<u>01/11/17:</u>	2.8 m/s	5.4 m/s
<u>02/11/17:</u>	2.5 m/s	4.8 m/s
<u>03/11/17:</u>	2.9 m/s	5.2 m/s
<u>04/11/17:</u>	2.8 m/s	4.9 m/s
<u>05/11/17:</u>	2.2 m/s	4.5 m/s
<u>06/11/17:</u>	1.8 m/s	3.9 m/s
<u>07/11/17:</u>	1.3 m/s	3.1 m/s
<u>08/11/17:</u>	2.8 m/s	5.0 m/s
<u>09/11/17:</u>	3.0 m/s	5.7 m/s
<u>10/11/17:</u>	1.8 m/s	4.0 m/s
<u>11/11/17:</u>	2.0 m/s	4.0 m/s
<u>12/11/17:</u>	2.1 m/s	4.0 m/s
<u>13/11/17:</u>	1.9 m/s	3.7 m/s

FUENTE: Elaboración propia

Mapa de altura de las estaciones

Una vez realizada la pertinente selección, las 2 estaciones automáticas de las que se van a utilizar los datos son las que se representan en el siguiente mapa de la Base Cartográfica de la Proyección Geográfica DATUM WGS84. Partiendo de los datos de longitud (UTM) y latitud de las estaciones y la altura a la que se encuentran, todos ellos disponibles en la descripción de cada estación, se va a proceder a mostrar su distribución geográfica en la región de Bagua.

Este programa utiliza tres variables para representar los mapas, los datos de las variables de longitud y altura para representarlos en el plano y una tercera variable que es la que se representa en altura en cada caso, en este caso la altura de la ubicación de la estación.

El resultado es un mapa en el que se puede apreciar el relieve de forma simplificada mediante curvas de nivel. En él se localizan las diferentes estaciones pudiéndose apreciar el relieve de la zona en la que se encuentran y la distribución de todas ellas en la región.

De esta forma se observa que la zona que presenta una menor densidad de estaciones se encuentra a mayor altitud, coincidiendo con la zona más alta de Bagua.

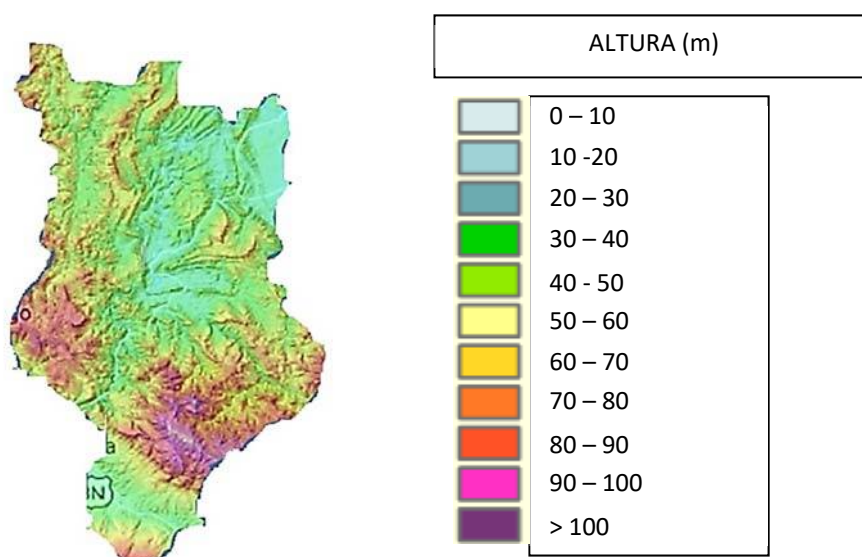
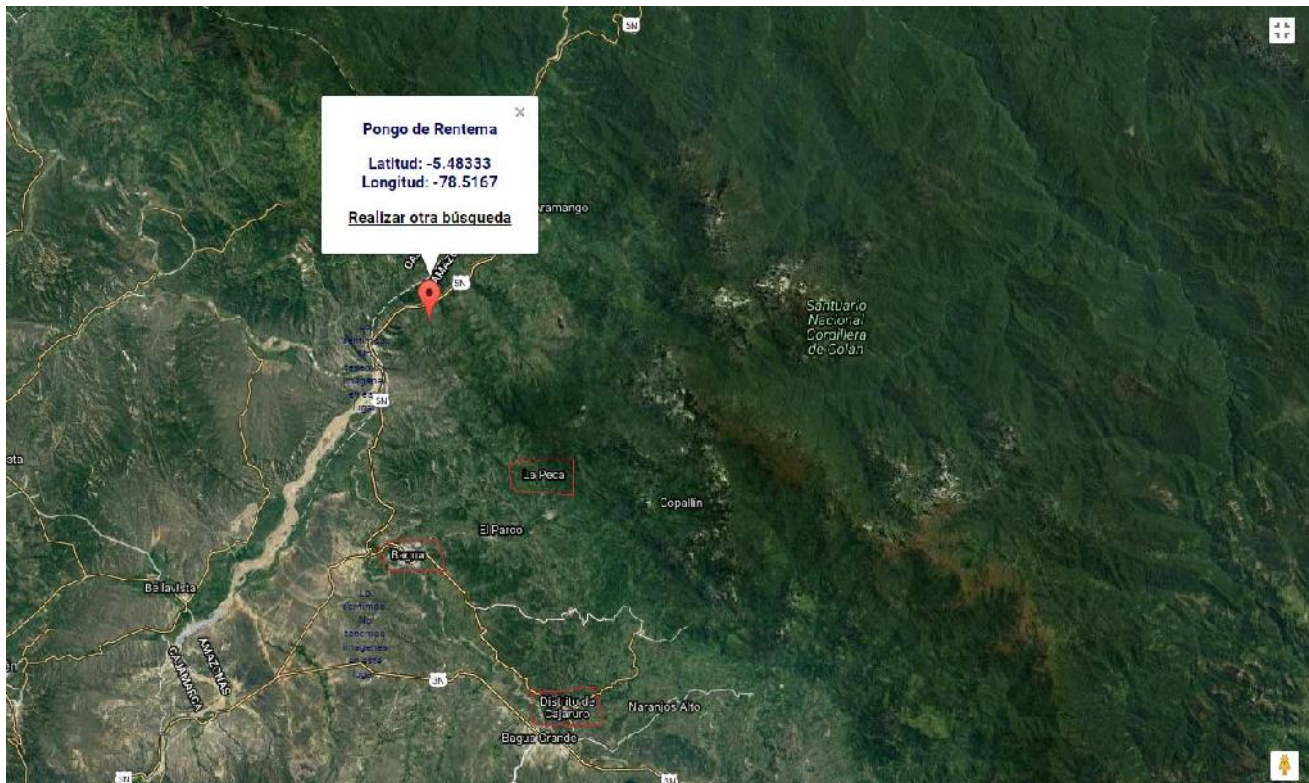


Fig 3.3. Mapa de alturas del departamento de Amazonas

Fuente: www.googleearth.com

CASERÍO EL ACERILLO-EL PONGO DE RENTEMA



Ubicado en: Departamento: **Amazonas** Provincia: **Bagua**

Fig 3.4. UBICACIÓN DEL AREA DEL PROYECTO

FUENTE: www.googleearth.com

TRATAMIENTO DE DATOS

Del total de las 2 estaciones seleccionadas se elige trabajar con los datos de velocidad de viento a 10 m del suelo. Los datos con los que se trabaja son diarios desde septiembre 2012 hasta octubre 2017.

Se empleará la ley potencial para determinar los valores de velocidad de altura de los que no se dispone, para ello se toman como referencia los valores medidos a 80 m y mediante la extrapolación que se ha mostrado, Se obtienen los valores a 10 m.

De la misma forma, para realizar el cálculo de la potencia eólica a 10 m y 80 m de altura, se toman como referencia los datos de las estaciones tanto a 10 como a 80 m y se extrapolan convenientemente en cada caso obteniéndose así todos los valores a 80 m.

3.7.1. RESULTADOS DE LOS ESTADÍSTICOS

A continuación, se muestra una tabla con los valores medios de las magnitudes calculadas de todas las estaciones. Se presentan los valores a diferentes alturas, a 10 m y 80m.

Tabla 3.3. Media de los valores de los indicadores de todas las estaciones

	VALORES MEDIOS	
	10m	80m
Media	2.5	3.5
Mediana	2.5	3.5
Desviación estándar	1.5	2.5
Rango intercuartílico	1.0	2.0
Asimetría robusta	0.0	0.0
Curtosis robusta	3.0	3.0
Coeficiente de correlación	0.8	0.8
Coeficiente de determinación	0.6	0.6
Coeficiente de variación	0.6	0.6
Coeficiente de correlación de Spearman	0.8	0.8
Coeficiente de correlación de Pearson	0.8	0.8

Fuente: Elaboración propia

Los valores medios de la mediana de la velocidad de viento a 10 y 80 m de altura corresponden a 2 Beaufort y a 3 Bf en el caso de la velocidad a 80 m en la escala Beaufort mencionada anteriormente en el Capítulo I.

Algunos de los indicadores muestran dependencia creciente con la altura como son la media, la mediana, la desviación estándar o el rango intercuartílico, en los que se observa un claro crecimiento al aumentar la altura, esta relación se comprobará posteriormente y se verá representada gráficamente.

Otros indicadores no muestran cambios de valor con la altura como es el caso de la asimetría robusta y la curtosis robusta, cuyos valores permanecen constantes.

En el caso del sesgo y la curtosis los valores son distintos para las diferentes alturas, pero no parece existir ninguna relación de estos indicadores con la altura.

En Tabla 3.3. a continuación, se muestran los valores mínimo y máximo entre los cuales están comprendidos todos los indicadores calculados a una altura de 10 m.

Tabla 3.4. Valor mínimo y máximo de cada indicador a 10 m de altura

Valores a 10 m	Mínimo	Máximo
Media (m/s)	0.35	5.08
Mediana (m/s)	0.3	5.2
Desviación Estándar (m/s)	0.34	1.71
Rango intercuartílico (m/s)	0.4	2.55
Sesg	1.28	-
Asimetría Robusta	0	-
Curtosi	1.67	-
Curtosis Robusta	0.27	0.34

FUENTE: Elaboración propia

Se observa que el rango de variación de la asimetría robusta, que varía entre -0.18 y 0.318 es mucho menor que el del sesgo, entre 1.28 y -0.04, tratándose siempre de valores positivos correspondientes a distribuciones de datos sesgados hacia la izquierda.

Lo mismo ocurre con el rango de variación de la curtosis normal y la curtosis robusta, la primera entre -0.343 y 7.155 y la segunda entre 0.217 y 0.299. La mayor parte de las distribuciones de datos tiene datos de curtosis y de curtosis robusta mayores que 0 y menores que 0.263 respectivamente (que son los valores correspondientes a la distribución normal en cada caso).

El valor medio de los indicadores es más próximo al mínimo sin embargo se tienen valores mucho mayores como es el caso de la curtosis cuya media es 1.14 y presenta valores desde - 0.34 hasta 7.15.

3.7.2. REPRESENTACIÓN DE LOS INDICADORES ESTADÍSTICOS

Esta sección está dedicada a la presentación de los resultados de los indicadores estadísticos que se han manejado y calculado a partir de las observaciones de velocidad a 10 m y 80 m representándolos en un mapa de la región de Bagua dibujando las correspondientes isótacas en diferentes colores para su diferenciación. Las isotacas son las líneas que unen puntos donde el viento sopla con la misma intensidad.

- **Media**

La media de velocidad, a excepción de algunas zonas puntuales en las que se aprecia que es más elevada y de dos zonas diferenciadas donde es ligeramente menor, está entre 3 y 4 m/s. Estas zonas con valores más elevados corresponderían con las estaciones situadas a mayor altitud y las de valores más bajos a las que se encuentran a menor altitud. Existe correlación entre la media de velocidad de viento y la altura, se trata de una relación lineal y creciente con la altura, a mayor altura de las estaciones la velocidad de viento es mayor. El valor del coeficiente de correlación es superior al valor crítico de 0.291, que habíamos determinado previamente, en este caso r es igual a 0.692.

- **Mediana**

Se observa que los valores mínimos de la mediana corresponden principalmente a las estaciones que se encuentran a menor altura como son (Manguchal) y los valores máximos pertenecen claramente a las estaciones situadas a una mayor altura (el Pintor). La relación que se observa es una dependencia lineal directa entre la velocidad y la altura, siendo esta creciente con la altura al igual que ocurría con la media.

El valor del coeficiente de correlación es superior al valor crítico que habíamos determinado previamente, en este caso es igual a 0.701 siendo mayor también que el coeficiente de correlación obtenido anteriormente en el caso de la media.

- **Desviación Estándar**

En micrometeorología, este dato es el primer camino para describir la turbulencia mecánica de la atmósfera, es decir, por influencia del viento, ya que cualquier dato de velocidad del viento, en primera aproximación, puede ser representado por su valor medio más una fluctuación que puede ser indicada por esta variación.

El valor del coeficiente de correlación r es superior al valor crítico que habíamos determinado previamente, en este caso r es igual a 0.537 por tanto la correlación es satisfactoria. Esta correlación es lineal creciente con la altura.

- **Rango intercuartílico (IQR)**

El rango intercuartílico es una medida de variabilidad adecuada cuando la medida de posición central empleada ha sido la mediana.

La correlación del rango intercuartílico con la altura y su representación se muestra a continuación en la gráfica de la Figura.

El valor del coeficiente de correlación r es superior al valor crítico que habíamos determinado previamente, en este caso r es igual a 0.508, va a existir por tanto correlación lineal con la altura.

No se aprecia correlación entre el sesgo y la altura, el valor del coeficiente de correlación para el sesgo es 0.022, menor en este caso que el valor crítico de 0.291.

- **Sesgo**

Las estaciones a mayor altura presentan una asimetría mayor sin embargo las situadas a menor altura no presentan una clara menor asimetría, sino que esta es intermedia.

No se aprecia correlación entre el sesgo y la altura, el valor del coeficiente de correlación para el sesgo es 0.022, menor en este caso que el valor crítico de 0.291.

- **Asimetría Robusta**

Las estaciones a mayor altura presentan una asimetría mayor sin embargo las situadas a menor altura no presentan una clara menor asimetría, sino que esta es intermedia.

- **Curtosis**

El rango de variación de esta curtosis es muy amplio, teniéndose valores desde -0.343 hasta 7.155. Se presenta a continuación la **correlación** de la curtosis con la altura y su representación gráfica.

El valor del coeficiente de correlación para curtosis es muy pequeño, r es igual a 0.00017, muy inferior al valor crítico de r calculado, por lo que podemos determinar que la correlación con la altura es inexistente.

- **Curtosis Robusta**

En el caso de la curtosis robusta se observa una gran diferencia con la curtosis anterior no robusta, la robusta está en un rango de variación mucho más pequeño, entre 0.217 y 0.299.

El valor del coeficiente de correlación para curtosis robusta es r es igual a 0.024, mucho menor que el valor crítico de 0.291. En este caso no se observa correlación entre la curtosis robusta y la altura al igual que en el caso de la curtosis no robusta donde tampoco existía dicha correlación.

- **HISTOGRAMAS**

Dado que la velocidad del viento cambia continuamente, es necesario describirlo de una forma estadística como variable aleatoria.

Surge entonces la necesidad de establecer un modelo para las frecuencias de las velocidades del viento que pueda ser descrito convenientemente por una función matemática continua en vez de por una tabla de valores discretos para facilitar su manejo.

Se parte de unos datos, se determina el número de datos en los que la velocidad del viento tenía un valor medio comprendido entre un cierto intervalo, y se crea así una gráfica de valores, histograma, donde se ven representadas las probabilidades de cada velocidad.

Se ha elegido mostrar los casos de histogramas con formas más diferentes entre sí para ver la diferencia de forma que puede tomar la distribución de datos, el resto de distribuciones son casos intermedios.

Obtención de un histograma

Primeramente, se establecen unos rangos de velocidad que serán las clases del histograma, se ha tomado una anchura de 0.2, es decir, las clases del histograma son de 0 a 0.2 m/s, de 0.2 a 0.4 m/s, de 0.4 a 0.6, y así sucesivamente hasta incluir el valor de la velocidad más alta medida. A continuación, con los todos los datos de las velocidades de una determinada estación a lo largo del periodo de estudio, desde septiembre del 2012 hasta octubre del 2017 en este trabajo, se realiza un conteo. Lo que se hace es un recuento del número de datos de velocidad que se encuentran dentro de cada clase del histograma. Posteriormente se expresan los resultados del conteo obtenidos en forma de porcentaje y se procede a representar el histograma correspondiente a la estación.

Representación

A continuación, se muestran algunos ejemplos de los histogramas obtenidos de los datos de distintas estaciones. En el eje X se representa la velocidad de viento y en el eje Y el porcentaje de mediciones a dicha velocidad.

Datos Hidrometereológicos

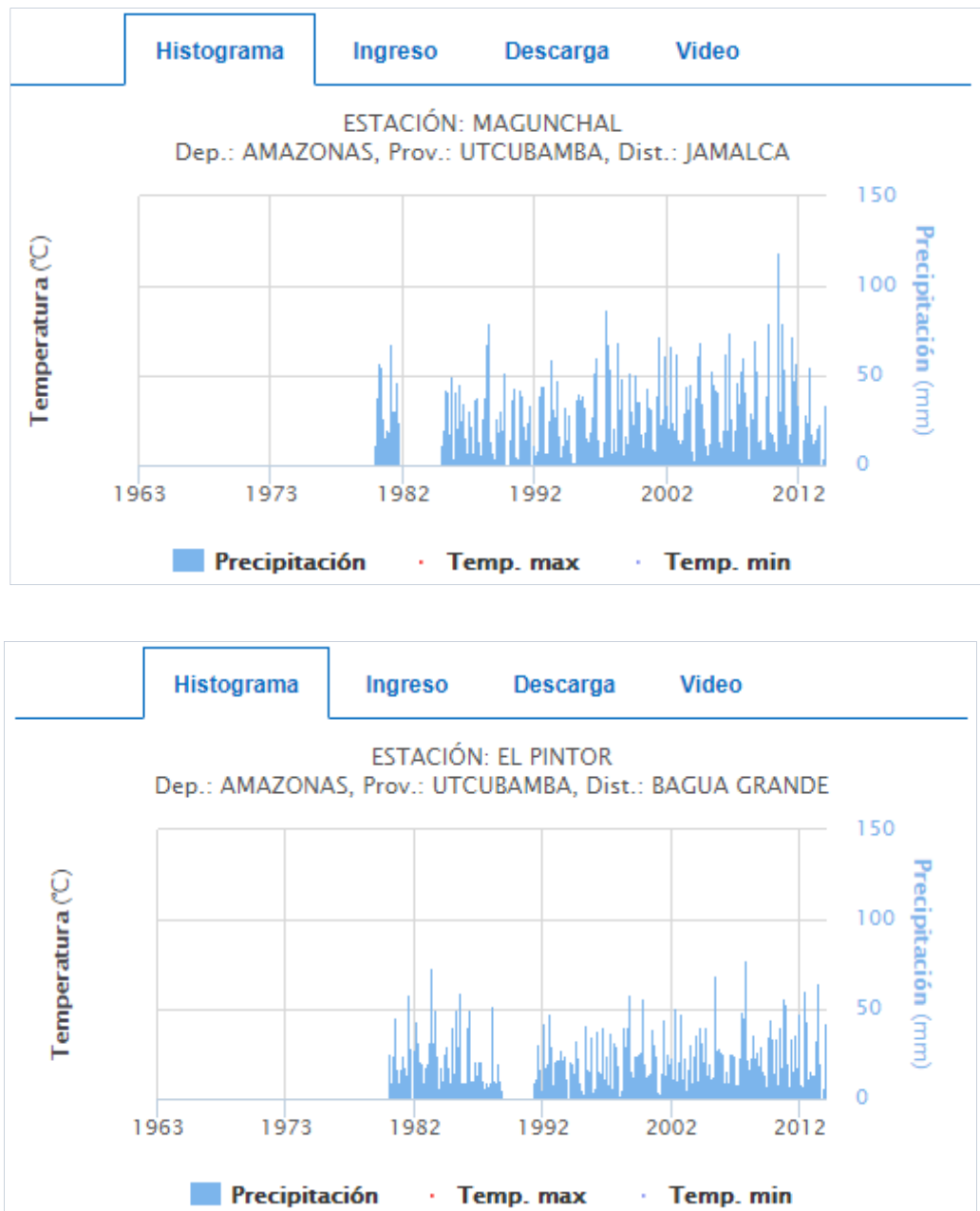


Fig. 3.5. El histograma de la estación de MACHUNGAL muestra una distribución con apuntamiento y precipitación.

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA – DATOS METEOROLÓGICOS
DE LAS ESTACIONES DE MANGUCHAL Y PINTOR**

El de la estación EL PINTOR por ejemplo muestra una distribución muy dispersa con muchas precipitaciones con frecuencia similar, presenta achatamiento y se observa cola a la derecha.

La altura a la que se encuentran las estaciones mostradas es la siguiente: MAGUNCHAL a 736 m., EL PINTOR 580 m.

La diferencia entre las distribuciones no se debe en este caso a la altura a la que se encuentran las estaciones, sino que podría deberse a la orografía del terreno. Los datos se ven muy influenciados por la situación de la estación, si esta se encuentra por ejemplo en un llano abierto o en una cresta el valor medido será superior al medido en el fondo de un valle o al pie de una sierra. Las medidas realizadas en crestas o cimas de montañas son muy diferentes respecto de las del fondo de los valles incluso dentro de una misma zona.

Conversión del histograma

El siguiente paso sería la conversión del histograma, representación discreta, a una función continua. Se realiza con este propósito el ajuste a la función de distribución de Weibull, función continua. Para diferentes distribuciones de velocidades del viento se puede comprobar que la función es flexible y toma diferentes formas ajustándose en cada caso a los datos presentados en forma de histograma.

Una vez extraídos los valores de los parámetros que presenta la distribución de Weibull, esta se puede representar gráficamente en cada caso.

PARÁMETROS K Y C DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

Se han calculado los parámetros de la distribución de Weibull y se han representado espacialmente en un mapa mostrándose también la correlación de cada uno de ellos con la altura. Se ha empleado para ello el método de los momentos.

A continuación, se presenta una tabla con el valor medio de todas las estaciones de los dos parámetros calculados a 80 m.

Tabla 3.5. Media de los valores de los parámetros de todas las estaciones

	VALORES MEDIOS
	80 m
k	2,05
c (m/s)	5,18

Fuente: elaboración propia

Los valores de k están en torno a 2 de media y el valor de c crece linealmente con la altura como se observa siendo proporcional a la media de velocidad.

Tabla 3.6. Valor mínimo y máximo de cada parámetro a 80 m de altura

Valores a 80 m	Mínimo	Máximo
k	1,49	3,16
c (m/s)	1,43	9,62

Tras haberse calculado los parámetros de la distribución de Weibull de cada estación, a continuación, se muestra en la Figura 3.15. las correspondientes a los histogramas presentados anteriormente.

Los parámetros correspondientes a las distintas distribuciones que aparecen la Figura 3.15 Son los siguientes:

MAGUNCHAL $k = 2.69$ y $c = 4.40$

EL PINTOR $k = 2.84$ y $c = 2.05$

Distribuciones Weibull

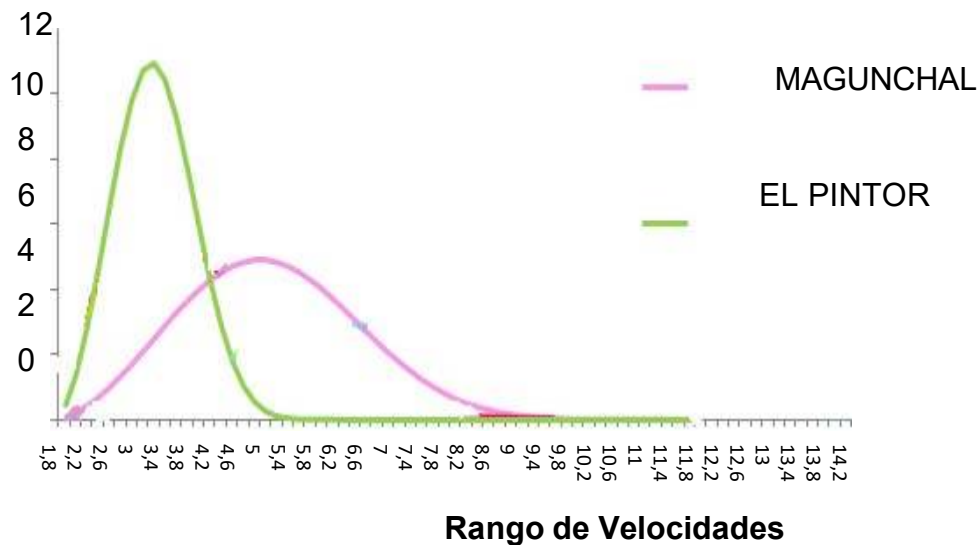


Figura 3.6. Distribuciones de Weibull correspondientes a los histogramas

Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar así la versatilidad de la distribución, que toma diferentes formas ajustándose a la distribución de los datos de cada estación.

El parámetro de forma, k

El parámetro de forma k representa el rango de variación de la velocidad del viento durante un período de tiempo, se trata un parámetro adimensional de la distribución de Weibull.

El rango de variación de k no es muy grande, entre 1.49 y 3.16, lo que da cuenta de lo regular que es el viento, ya que k da cuenta del rango de variación de la velocidad en un periodo de tiempo.

A continuación, se presenta la correlación del parámetro k con la altura y su representación en la gráfica de la Figura

Correlación k - altura

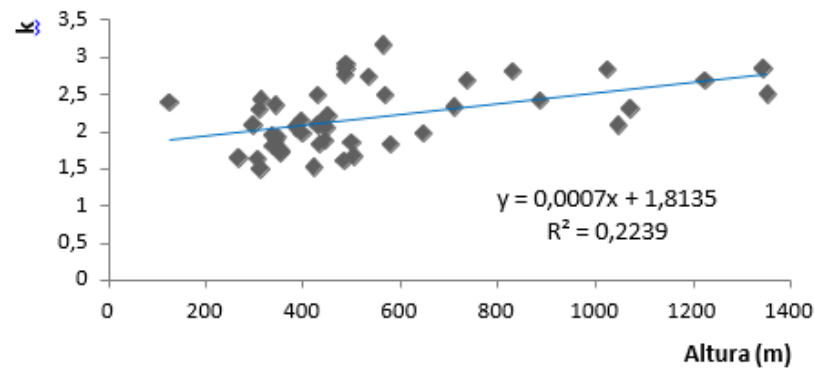


Figura 3.7. Gráfica de correlación entre el parámetro k y la altura

La correlación es satisfactoria, el valor de r es 0.473, superior al valor crítico de 0.291. La relación existente con la altura es creciente linealmente.

Fuente: elaboración propia

El parámetro de escala, c

El parámetro de escala c tiene unidades de m/s y está relacionado con la velocidad del viento v , tiene relación con la media de la velocidad.

La correlación del parámetro c con la altura y su representación se muestra en la gráfica de la Figura 4.5. a continuación.

Correlación c – altura

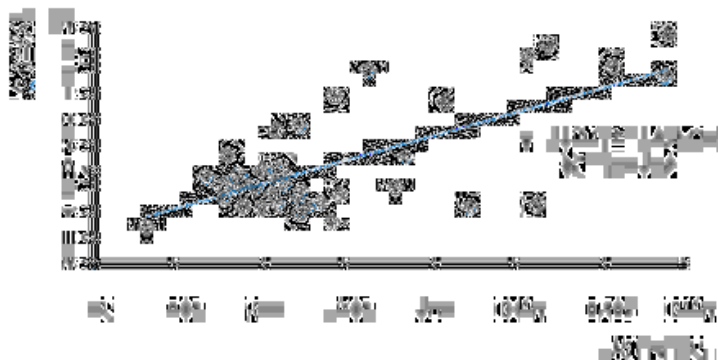


Figura 3.8. Gráfica de correlación entre el parámetro c y la altura

Fuente: elaboración propia

Existe correlación entre el parámetro c y la altura aún mejor que la que presenta el parámetro k , se trata de una relación lineal y creciente con la altura. El valor del coeficiente de correlación r es superior al valor crítico de 0.291 que habíamos determinado previamente, en este caso r es igual a 0.692.

DENSIDAD DE POTENCIA EÓLICA

Se investigará la posibilidad de obtener un mapa de densidades de potencia de origen eólico.

La energía eólica se obtiene a partir del viento, se ve limitada a la disponibilidad de vientos adecuados en la zona donde se sitúe el aerogenerador. Antes de su instalación resulta conveniente conocer el potencial eólico del lugar, se requiere la realización de estudios previos de la velocidad de viento en la zona ya que es necesaria la presencia de vientos fuertes.

Un aerogenerador es un generador de energía eléctrica accionado por la fuerza del viento. Existe una gran cantidad de ellos en funcionamiento, así como una gran variedad de modelos.

La utilizaremos para aerobomba en el cual se va a realizar el cálculo de la potencia eólica a 80 m de altura para lo que ha sido necesario extrapolar los datos originales a 2 y 10 m como se ha explicado en capítulos previos del trabajo.

Se calculará a esta altura por ser una altura común a la que se sitúan algunos aerogeneradores, aunque también se pueden encontrar en funcionamiento a otras alturas como puede ser a 40, 60 o 90 metros de altura.

Se va a proceder a realizar los cálculos de dos formas diferentes, una de ellas emplea los datos experimentales de velocidad y la otra se basa en los parámetros del ajuste de la distribución de Weibull.

MÉTODO DE LOS PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

La densidad de potencia media (Wind Power Density) se calcula aplicando la ecuación siguiente, en la cual aparecen los parámetros k y c de la distribución de Weibull previamente calculados.

$$WPD = 1/2 \rho c^3 r [1 + 3/k] \quad \text{E.C. 3.32}$$

Para los cálculos se emplean los datos de densidad del aire a 1atm a diferentes temperaturas, a 10°C, 15 y 20 (Çengel y Cimbala, 2006) mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 3.7. Densidad del aire a 10°C, 15°C y 20°C

	10 °C	15 °C	20 °C
Densidad (kg/m³)	1,246	1,225	1,204

Fuente: elaboración propia

La densidad de potencia disponible en una masa de aire en movimiento es directamente proporcional a la densidad del aire y al cubo de su velocidad.

Los resultados medios obtenidos tomando la densidad del aire a 15°C son los que se muestran a continuación en la Tabla 3.8

Tabla 3.8. Densidad de Potencia eólica a 80 m en W/m²

Potencia (10°C)	Potencia (15°C)	Potencia (20°C)
188,017482	184,848648	181,6798142

Fuente: elaboración propia

Habiéndose obtenido resultados de densidad de potencia muy bajos, inferiores a 10 W/m² en algunos casos y resultados que superan los 1100 W/m² en el caso de algunas estaciones. Estos valores destacablemente más elevados corresponden a las estaciones situadas en lugares a mayor altitud, los valores más bajos corresponden a las situadas a baja altitud, destacando más las situadas en valles entre montes o montañas.

A continuación, se presenta la correlación de la densidad de potencia con la altura.

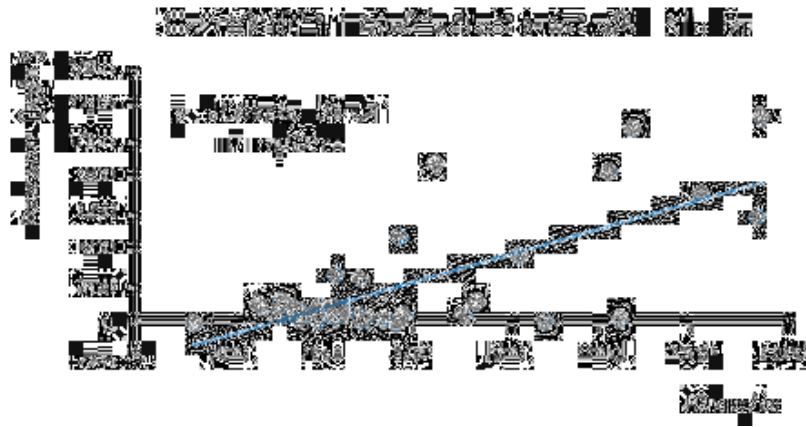


Figura 3.9. Gráfica de correlación entre la densidad de potencia media y la altura

Fuente: elaboración propia

La correlación es buena, el valor del coeficiente de correlación r es superior al valor crítico de 0.291 que habíamos determinado previamente, en este caso r es igual a 0.725.

Método de los Datos Experimentales

La densidad de potencia se obtiene en este caso mediante la siguiente ecuación, siendo la variable en este caso los datos obtenidos de la velocidad de viento a 80 m.

$$WPD = \frac{-1}{2N} a \frac{-1}{N} r_i \quad \text{E.C. 3.33}$$

Se emplean nuevamente los datos de densidad del aire a 1atm a las temperaturas de 10°C, 15 y 20 mostrados anteriormente en la Tabla 3.8. y los valores medios se muestran en la Tabla 3.9. siguiente.

Tabla 3.9. Densidad de Potencia eólica a 80 m en W/m^2

Potencia (10°C)	Potencia (15°C)	Potencia (20°C)
188,898218	185,71454	182,530863

Estos datos son muy similares a los obtenidos empleando el método de los Parámetros de la distribución de Weibull en el apartado anterior.

Es satisfactoria, al igual que con el método anterior el valor del coeficiente de correlación r es superior al valor crítico de 0.291 que habíamos determinado previamente, en este caso r es igual a 0.717.

EL VIENTO

El viento es el flujo de gases a gran escala. En la Tierra, el viento es el movimiento en masa del aire en la atmósfera en movimiento horizontal. Günter D. Roth lo define como «la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos».

En meteorología, se suelen denominar los vientos según su fuerza y la dirección desde la que soplan. Los aumentos repentinos de la velocidad del viento durante un tiempo corto reciben el nombre de ráfagas. Los vientos fuertes de duración intermedia (aproximadamente un minuto) se llaman turbonadas. Los vientos de larga duración tienen diversos nombres según su fuerza media como, por ejemplo, brisa, temporal, tormenta, huracán o tifón. El viento se puede producir en diversas escalas: desde flujos tormentosos que duran decenas de minutos hasta brisas locales generadas por el distinto calentamiento de la superficie terrestre y que duran varias horas, e incluso globales, que son el fruto de la diferencia de absorción de energía solar entre las distintas zonas geográficas de la Tierra. Las dos causas principales de la circulación atmosférica a gran escala son el calentamiento diferencial de la superficie terrestre según la latitud, y la inercia y fuerza centrífuga producidas por la rotación del planeta. En los trópicos, la circulación de depresiones térmicas por encima del terreno y de las mesetas elevadas puede impulsar la circulación de monzones. En las áreas costeras, el ciclo brisa marina/brisa terrestre puede definir los vientos locales, mientras que en las zonas con relieve variado las brisas de valle y montaña pueden dominar los vientos locales.

Mediciones realizadas en el lugar de emplazamiento- Anemómetro

Anemómetro kestrel: El Anemómetro de Bolsillo Kestrel es un pequeño anemómetro electrónico de aspas giratorias que puede llevarse fácilmente en el bolsillo. Utiliza cojinetes de alta precisión montados en rubí y un impulsor de bajo peso para proporcionar mediciones exactas del viento o del flujo de aire incluso a bajas velocidades. El conjunto impulsor es sustituible por el usuario en caso de daños. Este instrumento medirá las siguientes condiciones atmosféricas: velocidad del viento, ráfaga de viento máxima y velocidad del viento media.

Funciones:

Velocidad del viento, Ráfaga del viento máxima, Velocidad media del viento, Selección de unidad de medida: nudos, metros por segundo, kilómetros por hora, millas por hora, pies por minuto, fuerza Beaufort, Sumergible, Flotante, Impulsor sustituible

Anemómetro kestrel 1000



Las mediciones de VELOCIDAD MEDIA que se indican a continuación en la tabla se realizaron con el anemómetro digital kestrel 1000 kellerman.co USA.

VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN EL PONGO DE RENTEMA A 10 METROS		
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	MES	VELOCIDAD MEDIA TOTAL
2.53 m/s	ENERO	4.21 m/s
3.79 m/s	FEBRERO	
5.05 m/s	MARZO	
6.31 m/s	ABRIL	
2.53 m/s	MAYO	
5.05 m/s	JUNIO	
3.79 m/s	JULIO	
6.31 m/s	AGOSTO	
2.53 m/s	SEPTIEMBRE	
3.79 m/s	OCTUBRE	
5.05 m/s	NOVIEMBRE	
3.79 m/s	DICIEMBRE	

VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN EL PONGO DE RENTEMA A 2 METROS		
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	MES	VELOCIDAD MEDIA TOTAL
2 m/s	ENERO	3.33 m/s
3 m/s	FEBRERO	
4 m/s	MARZO	
5 m/s	ABRIL	
2 m/s	MAYO	
4 m/s	JUNIO	
3 m/s	JULIO	
5 m/s	AGOSTO	
2 m/s	SEPTIEMBRE	
	OCTUBRE	
	NOVIEMBRE	
3 m/s	DICIEMBRE	

VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN EL PONGO DE RENTEMA A 20 METROS		
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	MES	VELOCIDAD MEDIA TOTAL
2.79 m/s	Enero	4.655 m/s
4.19 m/s	Febrero	
5.59 m/s	Marzo	
6.98 m/s	Abril	
2.79 m/s	Mayo	
5.59 m/s	Junio	
4.19 m/s	Julio	
6.98 m/s	Agosto	
2.79 m/s	Septiembre	
4.19 m/s	Octubre	
5.59 m/s	Noviembre	
4.19 m/s	Diciembre	

La información recogida en base a preguntas y visitas realizadas en el lugar y mediante el manejo de la escala de Beaufort (figura 4.3) permitió conocer un valor aproximado de velocidad promedio del viento de (5.3 - 7.4 m/s). Donde las condiciones de topografía, vegetación y el conocimiento de los habitantes del lugar aportaron valiosa información en la identificación de los niveles de velocidad de viento así también determinar la constante de incidencia del viento en los árboles lo hacen que estos crezcan inclinados en la dirección predilecta del viento

Es claro que la información empírica recogida, no permite conocer un valor aproximado de velocidad promedio del viento. Pero si permite decir que el lugar puede ser apto para la implementación de un sistema de bombeo eólico.

Para conocer de una manera más efectiva el valor promedio del comportamiento del viento se realizó la medida de la velocidad de viento con el medidor digital, encontrando una velocidad media de **4,5m/s.**

Así mismo se analizó la velocidad del viento de las estaciones Magunchal y el punto, el valor de la velocidad media es de **3,5m/s.**

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE INVESTIGACION

4.1 PROPUESTA DE ESTUDIO

“Diseño de una aerobomba para riego tecnificado, con energía eólica para el sembrío de papaya en la localidad de acerillo – Bagua - Amazonas”

Para fortalecer la investigación ha sido necesario el análisis de diversos factores involucrados directamente en este trabajo investigativo.

- ☐ Determinación del caudal.
- ☐ Sistema de riego a utilizar.
- ☐ Tipo de plantación etc.

En el proceso de caracterización del viento intervienen diferentes aspectos que se describen a continuación.

- ☐ **Procedimiento de toma de datos:** Variables a medir, (velocidad y dirección), procedimientos de medición, frecuencia de muestreo, etc.
- ☐ **Técnica de medición:** Aparato de medida (anemómetro digital.), colocación del instrumento de medida.
- ☐ **Métodos de tratamiento de datos:** Técnicas estadísticas, forma de presentación, distribución de probabilidad, etc.
- ☐ **Además de la determinación del caudal:** Sistema de riego (goteo) tipo de plantación, caudal necesario por día, área de plantación y tipo de suelo, etc.

4.1.1. Estudio de un método de riego eficiente.

Se considera eficiente un método de riego cuando el agua que se destina al cultivo es utilizada en un porcentaje superior al 70%. A continuación, se muestra la siguiente tabla de los distintos métodos de riego con sus respectivas eficiencias.

Tabla 4-1 Métodos de riego con sus respectivas eficiencias

Método de riego	Eficiencia de aplicación (%)
Surcos	45
Bordes rectos	50
Bordes en contorno	60
Aspersión	75
microaspersión	85
goteo	90

Fuente: Comisión nacional de riesgo (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

Cada uno de los distintos métodos de riego presenta características propias de implementación y manejo, que influyen en la eficiencia de aplicación y aprovechamiento del agua por las plantas.

Los métodos más eficientes corresponden aquellos en que el agua se conduce por tuberías con cierta presión y es aplicada en forma localizada, como es el caso de goteo y microaspersión indicada en la tabla 4.1.

Existen criterios generales que se deben tomarse en cuenta para el diseño de un sistema de riego, considerándose ya sea aspectos agronómicos e hidráulicos.

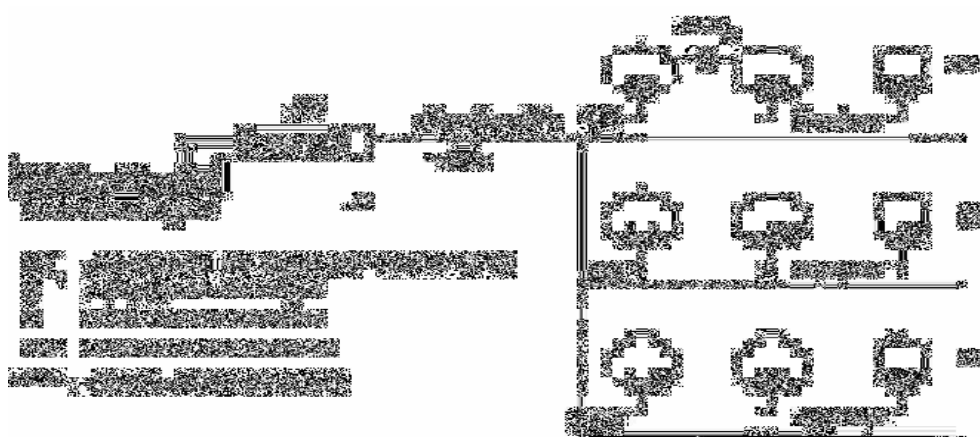


Fig. 4.1 Esquema a considerar en un sistema de riego.

Fuente: Comisión nacional de riesgo (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

□ **Demandas de agua para el cultivo.**

La demanda de agua en un cultivo: o evapora transpiración del cultivo, depende del estado de desarrollo en que se encuentra la plantación, (frotación, desarrollo de frutos, cosecha)

De las condiciones climáticas: temperatura, humedad relativa, viento.

Características del suelo: profundidad, textura, infiltración, y la disponibilidad de agua que se tenga. La demanda de agua se puede determinar a través de la bandeja de evaporación (clase A) instrumento que se encuentra en la mayoría de las estaciones meteorológicas y donde se puede solicitar información.

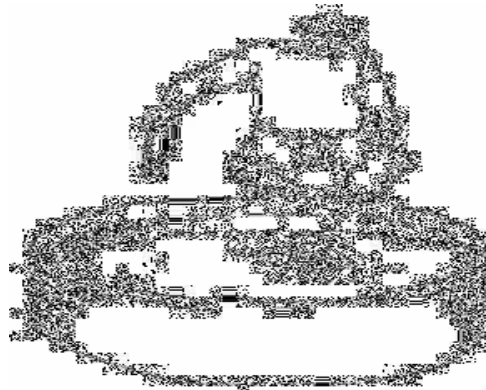


Fig. 4.2 Medición de la evaporación.

Fuente: Comisión nacional de riesgo (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

Evapora transpiración del cultivo (ETc):

$$Etc = Kp \times Kc \text{ (mm/día)} \quad \text{E.C. 4.01}$$

Dónde:

Etc = Evaporatranspiración del cultivo en (mm/día).

EB = Evaporación desde la bandeja en (mm/ día).

Kp = Coeficiente de la bandeja.

Kc = Coeficiente de cultivo.

Kp: Coeficiente de la bandeja, factor característico del evaporametro (clase de bandeja A), varia normalmente entre valores de 0.6 y 0.8.

Kc: Coeficiente del cultivo, factor que varía según el tipo de cultivo y según las distintas etapas de desarrollo.

Del trabajo científico Estimación de las necesidades hídricas de la papaya utilizando la aproximación de los coeficientes culturales duales: Y. Chaterlán^{1,2}, P. Paredes², R. Rosa², G. Hernández¹, T. López¹, L.S. Pereira².

Se ha tomado los siguientes datos

Datos:

EB = 6.1 mm/ día (Máxima evaporación de bandeja).

Kp = 0.7 (valor promedio).

Kc = 0.8 (valor más alto).

Demanda de cultivo o Etc = $6.1 \times 0.7 \times 0.8 = 3,416$ mm/día.

Ello equivale a: 34.16 /ha/día.

Demanda neta del cultivo.

Las demandas netas del cultivo (D.N.C) será la siguiente:

$$D.N.C = \frac{Etc \times M.P \times Pc}{100} \quad E.C. 4.02$$

Dónde:

M.P = Marco de plantación.

$$3 \times 3.5 = (10.5m^2)$$

PC: Eficiencia aproximada de aplicación del agua según el método de riego utilizado, varía según el estado de desarrollo de cultivo, siendo igual al 100% en plena producción.

PC = 90% (goteo).

Etc = 3.42 mm/día

$$D.N.C = \frac{3.42 \times 10.55 \times 90}{100} = 32.32 \text{ lt/planta/día}$$

Como los métodos de riego utilizados no son 100% eficientes, la demanda real o bruta (D.B.C), será igual a la demanda neta dividida por la eficiencia.

Si estamos regando por goteo esta eficiencia será igual 90% (ver tabla 4.1). Luego la demanda bruta será:

$$D.B.C = \frac{D.N.C}{EFICIENCIA} = \frac{32.32 \times 100}{90} = 35.91 \text{ litros/planta/día}$$

Volumen diario de la planta.

Una vez seleccionado el tipo de riego, será necesario definir 3 aspectos:

- ☐ Tipo de emisor a utilizar.
- ☐ Número de emisiones por planta.
- ☐ Espaciamiento entre ellos.

Los datos se refieren a un sistema de riego por goteo. Al momento de seleccionar el gotero deben tomarse en cuenta aspectos como: relación caudal presión (figura 4.1) materiales de construcción, sensibilidad a la obstrucción, forma de inserción en la tubería lateral. etc.

En el mercado nacional existe una amplia gama de emisores, encontrándose abundante información sobre sus características hidráulicas y de diseño.

Los de uso común entregan un caudal de 3.5 a 4 lts /hora y con presiones de operación de 10 a 15 metros de columna de agua (m.c.a) o 0.7 a 1.

Tabla 4.2. Determinación del gotero en relación a la presión.

CAUDAL DEL GOTERO EN RELACIÓN A LA PRESIÓN							
Caudal (l/h)	PRESIÓN (m.c.a)						
	5	10	15	20	25	30	
2.05	1.05	2.05	2.45	2.85	3.15	3.15	
4.10	2.09	4.10	4.90	5.80	6.05	7.10	
8.00	5.80	8.00	9.80	11.80	12.60	18.8	

Fuente: Comisión nacional de riesgo (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

El número de goteros o emisores por planta va a depender fundamentalmente de que proporción se quiera mejorar (P.S.M.), la cual no debería ser inferior a 30 – 40% .de esta forma el número de goteros (n.g) puede quedar definido por la siguiente relación:

$$n.g \geq \frac{M.P \times P.S.M}{100 \times amg} \quad \text{E.C. 4.03}$$

El área mojada por emisor (Amg), puede calcularse tomando en cuenta la información (tabla 4.3) donde se indican los diámetros mojados por emisor para distintas condiciones de suelo y profundidad de raíces. De esta forma para un suelo con textura media y 80 cm. De profundidad, el diámetro de mojadura aproximado será 1.25 m.

$$amg = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.1416 \times (1.25)^2}{4} = 1.227m^2$$

Tabla 4-3 Diámetro mojado por un emisor.			
Profundidad de raíces y textura del suelo		Granos de estratificación del suelo Homogéneo estratificado en capas Diámetro molado (m)	
Profundidad – 0.80m			
Ligera		0.50	0.80 1.10
Media		1.00	1.25 1.70
Pesada		1.10	1.10 2.00
Profundidad – 1.70 m			
Ligera		0.80	1.50 2.00
Media		1.25	2.25 3.00
Pesada		1.70	2.25 2.50

Fuente: Comisión nacional de riesgo (CNR) Instituto de investigaciones agrarias (INIA).

Número de emisores por planta será el siguiente:

$$n.g = \frac{M.p \times P.S.M}{100 \times Amg} \quad \text{E.C. 4.04}$$

Dónde:

n.g = Número de goteros por planta.

M.p = Marco de plantación (m^2).

P.S.M = Porcentaje del suelo a mojar (30% - 40%).

Amg = Área mojada por emisor (m^2).

$$n.g = \frac{105 \times 35}{107 \times 1.227} = 2.99 \text{ goteros} = 3 \text{ goteros}$$

Ubicación de goteros en línea lateral.

La distancia entre planta es de 3.5 metros por lo tanto el distanciamiento de goteros será igual a:

$$d.g = \text{Separación de las plantas} / n.g = 3.5 \text{ m.} / 3 = 1.16 \text{ m.}$$

Con este distanciamiento se asegura un traslape de los bulbos de moja miento y se cumple el requisito de porcentaje del suelo humedecido, si se desea colocar los goteros a un mayor distanciamiento, se puede hacer, pero hay que tener un mayor control en el manejo del sistema.

Tiempo de riego en el cultivo.

Podemos determinar calculándose el tiempo de Riego Diario (T.R.D), con la siguiente ecuación:

$$T.R.D = \frac{D.B.C}{n.g \times q.g} \quad \text{E.C. 4.05}$$

Dónde:

D.N.C. = Demanda bruta del cultivo (ya calculada).

n.g. = Número de goteros (ya determinado).

q.g. = Caudal del goteo (predefinido).

De esta forma nuestro tiempo de riego en el mes de máximo consumo diario será igual

$$T.R.D = \frac{35.91(\text{litros/dia})}{3 \times 35(\text{litros/dia})} = 3.52(\text{litros/dia})$$

Caudal de diseño (Qd).

Dependerá de la superficie que cubre el proyecto. (1 hectárea.).

$$Qd = (Ng \text{ de plantas / ha}) \times (\text{superficie del sector (ha)} \times n.g. \times (q.g.))$$

E.C. 4.06

$$Qd = (1200 \text{ plantas / ha}) \times (1 \text{ ha}) \times (3.0) \times (3.5 \text{ l/día})$$

$$Qd = 12.6 \frac{m^3}{dia}$$

$$Caudal \text{ requerido}(Q_r) = 4.37 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 1.585 \frac{m^3}{hora}$$

4.1.2. Evaluación de prospección eólica.

Debido a su posición geográfica y a la diversidad de alturas impuesta por la cordillera de los Andes, el Perú presenta una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias. Nuestro país está ubicado dentro del cinturón de bajas presiones atmosféricas, por esta razón, ciertas áreas del Perú reciben la influencia alternativa de masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad.

Las características climatológicas del Perú, como las de cualquier otra parte del planeta, responden a una diversidad de factores que modifican su condición natural, tales como:

- Latitud geográfica.
- Altitud del suelo.
- Dirección de las cadenas montañosas.
- Vegetación etc.

Variables principales del clima. - Entre las variables principales del clima se tiene:

- Temperatura
- Humedad
- Lluvia
- Evaporación
- Dirección y fuerza del viento
- Radiación solar, etc.

La región Interandina o Sierra se caracteriza por poseer regímenes de lluvia, y por su naturaleza tenemos los vientos de drenaje y de montaña y de valle, lo cual nos permite obtener grandes cantidades de energía eólica debido a que la velocidad que los vientos adquieren son lo suficiente fuertes para generarlos, por lo que es la región con mayor factibilidad de utilización del potencial eólico.

Datos generales:

Provincia : Bagua.

Distrito : Bagua.

Caserío : El Acerillo

Uso : Extracción de agua por bombeo para regadío.

Ubicación geográfica

- Altitud geográfica: 430 m.s.n.m.

Posición geográfica:

- Latitud : -5.48333.
- Longitud : -78.5167.
- Temperatura promedio : 21-38 °C.

Estudio del suelo.

La Amazonía peruana, conocida también con el nombre de selva, montaña, región oriental, región amazónica o hílea amazónica, abarca una extensión de 759,052 Km², que representa aproximadamente el 59% del territorio nacional y cerca del 14% de la Amazonía continental. Su población, estimada a 1993, es cercana a 3 millones de habitantes. Desde el punto de vista climático, la Amazonía peruana, en términos generales, se caracteriza por presentar elevadas temperaturas y fuertes precipitaciones, la temperatura media anual varía de 22.5 a 27.2°C y la precipitación media anual de 602 a 3411 mm. En la Amazonía peruana se ha identificado tres grandes ecosistemas: el bosque pluvial, que se caracteriza por una estación seca, de no más de 3 meses consecutivos y presentar una vegetación natural típica de bosque húmedo tropical; el bosque estacional semi siempreverde, constituido

por una pronunciada época seca, pero no mayor de 4 meses consecutivos; presenta una vegetación natural típica de bosque seco tropical; y el bosque espinoso, que se caracteriza por su baja precipitación y por ser una región árida (Sánchez y Benites, 1983). En esta región, se distinguen principalmente dos zonas diferenciadas por su altitud, morfología, clima, características de sus ríos, etc., que son la selva alta y selva baja. La selva alta es la zona del pie de monte oriental de la Cordillera de los Andes. Se encuentra entre 2,500 y 500 m.s.n.m., es escarpada y presenta cordilleras y colinas, así como valles de poco ancho y de gran longitud, siendo su geología compleja. Representa aproximadamente el 27% del Perú. La selva baja se sitúa por debajo de los 500 m.s.n.m. y se inicia al finalizar los últimos contrafuertes andinos. Morfológicamente, se distinguen dos unidades fisiográficas: la primera incluye terrazas bajas sujetas a inundaciones, de origen aluvial reciente y de mayor fertilidad. Según ONERN (1982), estas tierras comprenden una superficie aproximada de 3'278,500 Ha. En las terrazas bajas inundables de los ríos Amazonas, Ucayali y Marañón, se sitúa una parte significativa de la población rural y la mayor parte de la superficie dedicada a la producción de cultivos alimenticios. No obstante, esta situación, ha sido muy escaso el esfuerzo de las instituciones de investigación en ampliar el conocimiento sobre estas áreas y generar tecnologías adecuadas para su uso racional. La segunda está constituida por terrazas no inundables y superficies onduladas, con diferente grado de disección, con sedimentos no consolidados del pleistoceno y del terciario (Zamora 1987; Dumont y García, 1989). El poco esfuerzo de la investigación en suelos tropicales ha estado concentrado en estas tierras. En el presente trabajo se trata de sistematizar y analizar la información disponible, sobre el recurso suelos en la Amazonía peruana, con el objeto de plantear una estrategia general para su investigación.

Tabla 4.4. Escala Beaufort para medición cualitativa de la velocidad de viento

Escala de Beaufort		
	Vel. Viento en m/s	Características
1	1.8 – 3.3	Perceptible en la cara
2	3.4 – 5.2	Leve movimiento de las hojas
3	5.3 – 7.4	Leve movimiento de ramitas
4	7.5 – 9.8	Se oye silbar el viento

Fuente: Molinos de Viento para Bombeo de Agua JOBER

4.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA PROPUESTO

DISEÑO DE LA AEROBOMBA

4.2.1 DATOS INFORMATIVOS

El sistema de energía será estudiado en su totalidad, debiendo cumplir ciertas características detalladas a continuación.

Estará destinada a trabajar velocidades de viento promedio de 3.5m/s.

Potencia útil para el bombeo de 185.3 W.

Caudal necesario para la extracción del recurso hídrico.

$$r \quad Q_r = 3.9 * 10^{-4} m^3/s$$

Diámetro del rotor = 2.6 m.

Área de barrido = 4.7 m.

4.2.2 ANTECEDENTES DE DISEÑO

Nuestro estudio estará centrado en el Molino de viento multipala, tradicional con bomba de pistón ya que este es el más común de los molinos de viento, es conocido comúnmente como el Molino de Viento Americano (American Farm Windpump).

Este tipo de máquina extrae la potencia del viento con un rotor compuesto por 12 a 24 o más palas, que mueve una bomba de pistón a través de una barra vertical el acoplamiento entre el rotor y la barra se realiza mediante un mecanismo de biela manivela. Esto hace más versátil a la máquina y adecuada para trabajar con agua a grandes profundidades.

Por otro lado, la baja velocidad de trabajo hace la máquina más fiable por el menor desgaste por fricción de los elementos de la bomba y disminuye las roturas por fatigas. El diámetro del rotor de estos molinos se fabrica entre 2 m y 5 m generalmente, pudiendo llegar excepcionalmente hasta 10 m. Estas máquinas pueden ser instaladas en sitios con bajas velocidades del viento, entre 2 m/s y 5 m/s.

4.2.3 JUSTIFICACIÓN

Para mejorar la producción agrícola de papaya en los meses con mayor demanda de agua, se ha visto en la necesidad de realizar el estudio de una aerobomba para extraer el agua desde una vertiente de 5 m. De profundidad y una altura de descarga de 15 m. La cual permita optimizar la producción agrícola en el caserío El Acerillo.

4.2.4 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La elaboración de la propuesta es factible de realizar, ya que se cuenta con toda la Información necesaria.

Para que exista una buena perspectiva en el diseño de la aerobomba es necesario trabajar con equipos y materiales existentes en el mercado nacional, esto permitirá coordinar de mejor manera las técnicas de diseño del equipo, permitiendo tomar medidas relacionadas costo- beneficio, para la cual más adelante determinaremos que tan rentable resultaría la implementación del equipo. Pretendiendo incrementar la producción agrícola en los meses de mayor estiaje.

4.2.5 FUNDAMENTACIÓN DEL DISEÑO

Para todo tipo de Aerobomba la elección del emplazamiento es un elemento determinante, los parámetros definitorios del lugar son diferentes dependiendo del bombeo a realizar por dicha Aerobomba.

Uno de los mayores desafíos a la hora de usar la energía eólica es encontrar el lugar para el emplazamiento de la aerobomba.

Datos generales

Departamento : Amazonas
Provincia : Bagua.
Distrito : Bagua.
Caserío : El Acerillo.

Uso: Extracción de agua por bombeo para irrigación.

Parámetros para el diseño del sistema

Caudal requerido $= 4.37 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$
Altura de bombeo $= 15 \text{ m.}$
Velocidad media $= 3.5 \text{ m/s.}$
Diámetro del rotor $= 2.6 \text{ m.}$

Variación de la velocidad del viento con la altura

Rugosidad del terreno.

En las capas próximas al suelo, la velocidad del viento disminuye produciendo un efecto de cizallamiento del viento, la variación o gradiente de velocidad con respecto a la altura depende esencialmente de la rugosidad del terreno. En los casos que solo se conoce la velocidad media $\langle v \rangle$, medida a una altura (h) y no se dispone de más información sobre las características físicas ni el tipo de terreno, podemos utilizar la fórmula de Justus – Mikjail, pudiendo obtener una estimación del exponente α

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 \ln(v_h)}{1 - 0.088 \ln(\frac{h}{10})}$$

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 \ln(3.5)}{1 - 0.088 \ln(\frac{10}{10})}$$

$$\alpha = 0.22$$

h = Altura respecto del suelo a la que se ha medido la velocidad media (m).

(v_h) = Velocidad media a la altura h (m/s).

4.2.6 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO:

Es la potencia que podríamos extraer del viento si pudiésemos convertir toda su energía mecánica en energía útil, debido a limitaciones de distinta índole (límite de Betz), rozamientos aerodinámicos y mecánicos, rendimiento de la bomba hidráulica etc. La densidad de aire de potencia depende linealmente de la densidad del aire, por lo que un aire frío presenta una densidad de potencia superior a uno más caliente. Asimismo, un lugar situado a una cota próxima al nivel del mar presentara una densidad superior a otro a una mayor altitud, para corregir los efectos de la temperatura y la de altitud sobre el nivel del mar, densidad se puede determinar utilizando la expresión aproximada.

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{t + 273} \right) e^{-\left(\frac{z}{8435} \right)}$$

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{16 + 273} \right) e^{-\left(\frac{2580}{8435} \right)}$$

$$\rho = 0.899$$

ρ = Densidad de aire (kg/m^3).

t = Temperatura en grados centígrados ($14 - 18^\circ\text{C}$).

z = Altura sobre el nivel del mar 2580 m.s.n.m. (Pelileo).

Donde el potencial eólico es:

$$\frac{\langle Pd \rangle}{A} = \frac{1}{2} \rho F e \langle v \rangle^3$$

Fe = factor de energía (factor de potencial eólico o factor de irregularidad)

Anexo 3

k	$\langle v \rangle / c$	$\sigma / \langle v \rangle$	$\tilde{v} / \langle v \rangle$	$V_m / \langle v \rangle$	$Fe = \langle \sigma \rangle / F$	F
2,4	0,886	0,444	0,968	0,901	1,63	1,18

$$\frac{\langle Pd \rangle}{A} = \frac{1}{2} \rho Fe \langle v \rangle^3$$

$$\frac{\langle Pd \rangle}{A} = 168.3 \text{ W/m}^2$$

Coeficiente de potencia.

Coeficiente de potencia expresa la relación o fracción entre la potencia aprovechada por la máquina y la potencia disponible en el viento, para aerogeneradores de rotor giratorio es de (0,25 - 0,30).

Potencia útil (Pu) que suministra por la bomba:

$$Pu = \frac{\rho_{agua} \times Q \times H}{\eta} \quad \text{E.C. 4.07}$$

$$Pu = \frac{1000 * 9 * 4.34 * 10^3 * 15}{0.80}$$

$$Pu = 185.13 \text{ W}$$

Dónde:

Q = Caudal volumétrico de líquido bombeado ($\frac{m^3}{s}$).

ρ = Densidad del líquido bombeado ($\frac{Kg}{m^3}$).

η = Rendimiento de la bomba (70 - 80%).

H = Altura manométrica suministrada por la bomba (15m)

Área barrida por el rotor.

El área barrida por el rotor que éste presenta frontalmente al viento, es un parámetro que se utiliza con cierta frecuencia en los cálculos de energía eólica. Conocidos los datos energéticos de la máquina y de la fuente energética.

Diámetro del rotor:

$$R = \left[\frac{Pu}{\eta m Cp \left(\frac{\langle pd \rangle}{A} \right) \pi} \right]^{0.5} \quad \text{E.C.4.08}$$

$$R = \left[\frac{175.13}{0.95 * 0.28 * (166.3) \pi} \right]^{0.5}$$

$$R = 1.184 \text{ m}$$

Diámetro del rotor $D \cong 2.6m$

Dónde:

Pu = Potencia útil.

η = Rendimiento de la maquina eólica (0.95%).

Cp = Coeficiente de potencia (0,25-0,30)

$$A = \pi R^2$$

$$A = 4,9m^2$$

Determinación del potencial eólico.

Potencia disponible (Pd), velocidad del viento en el sector para determinar cuanta energía puede aprovechar el sistema.

$$< Pd > = \frac{1}{2} \rho A F e < v >^3 \quad \text{E.C. 4.09}$$

$$< Pd > = 805.83 \text{ W}$$

Potencia aprovechada. Es la potencia útil que ofrece el eje del rotor y que generalmente se utiliza para el accionamiento del mecanismo de transmisión, se determina a través de la relación.

$$Pa = Cp \times Pd \quad \text{E.C. 4.10}$$

$$Pa = 241.75 \text{ W}$$

Par en eje del rotor.

$$M = \frac{Pa}{\Omega} \quad \text{E.C. 4.11}$$

$$M = \frac{243.33}{6.2 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}}$$

$$M = 39 \text{ Nm.}$$

Las Aero bombas pueden tener en el rotor diferentes números de palas, (12 a 24 palas), ya que poseen un alto par de arranque y giran a bajas rpm (rotores lentos).

$$n = \frac{4 \times \pi}{\lambda} \quad \text{E.C. 4.12}$$

$$n = 12$$

Dónde:

n = Número de palas.

λ = Velocidad específica

Coeficiente de velocidad.

Relación entre la velocidad tangencial debido a la rotación en el extremo más alejado de la pala y la velocidad del viento, permitiendo clasificar los rotores en lentos o rápidos.

$$\lambda = \frac{R\Omega}{v}$$

E.C. 4.13

$$\lambda = \frac{1.25 \times 6.1}{6.28}$$

$$\lambda = 1$$

Dónde:

R = Radio del rotor (m).

Ω = Velocidad angular del rotor (rad/s).

La velocidad específica () ayuda a verificar el número de palas en la siguiente tabla.

Tabla 4.5. Relación de velocidad específica con el número de palas

	1	2	3	4	5 a 8	8 a 15
Numero de palas (z)	6 a 20	4 a 12	3 a 8	3 a 5	2 a 4	1 a 2

Fuente: MCL-otero.

Las palas son una parte muy importante de la Aerobomba, de su naturaleza dependen el buen funcionamiento y duración de la vida de la máquina, así como de su rendimiento. Para el diseño de una pala lleva consigo la elección del perfil más adecuado, teniendo en cuenta sus características aerodinámicas y su aspecto constructivo. El rotor de un molino que está constituido por uno o más alabes unidos a un cubo, las secciones transversales llamadas también perfiles pueden tener diversas formas.

Para el diseño de las palas de un rotor es importante conocer los valores CL y correspondiente a la mínima relación CD/CL.

CL = Coeficiente de sustentación.

CD = Coeficiente de arrastre.

α = Angulo de ataque

Parámetros para el diseño de un perfil tipo placa arqueada.

$$CL = 0.9 \quad \alpha = 4 \quad CD/CL = 0.02$$

La selección de un gran número de alabes (n) para un elevado # conducirá a álabes muy pequeños y delgados, los cuales originaran problemas en su fabricación y una influencia negativa sobre las propiedades de sustentación y resistencia de estos. Para un valor bajo el aumento del número de alabes compensa la pérdida de potencia debido a la resistencia. Él es una relación de la velocidad entre la velocidad periférica y la velocidad del viento a un radio determinado para cuestiones de diseño se pretende que exista un valor mayor a con respecto a la velocidad del viento, la velocidad específica se calcula según la ecuación.

$$\lambda r_i = \lambda \frac{r_i}{R} = 1 \quad \text{E.C. 4.14}$$

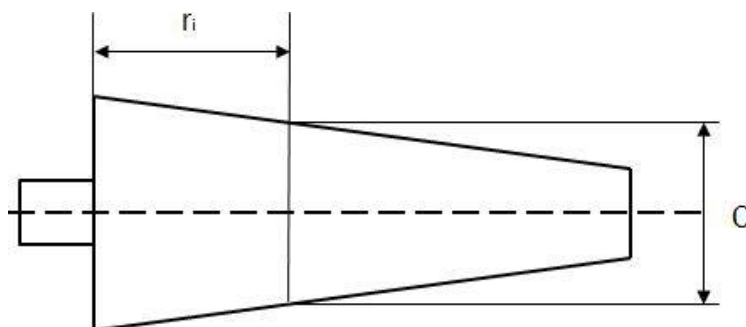
Dónde:

r_i = Distancia de la sección de estudio al centro del rotor.

R = Radio de la pala.

Fig. 4.3 Forma de seccionar una pala.

Fuente: Elaboración propia



Las siguientes expresiones facilitan el cálculo de la geometría del perfil, cuerda, ángulo de sustentación o aparente del viento, ángulo de calaje o de inclinación.

Remplazando los valores en las siguientes ecuaciones tenemos.

$$\theta = \frac{2}{3} \tan^{-1}(1/\lambda_{ri}) \quad \text{E.C. 4.15}$$

$$\theta = \frac{2}{3} \tan^{-1}(1/1)$$

$$\theta = 33$$

$$\beta = \theta - \alpha$$

$$\beta = 33.3 - 4$$

$$\beta = 29.3$$

$$C = \frac{8r\pi}{nc_t} (1 - \cos\theta) \quad \text{E.C. 4.16}$$

$$C = \frac{8 \times 1.25 \times \pi}{12 \times 0.9} (1 - \cos 33.3)$$

$$C = 0.389m$$

Al considerar una linealización se debe notar que alrededor del 75% de la potencia que extrae el rotor desde el viento se realiza por la mitad exterior de los alabes.

Por estas razones es conveniente linealizar las cuerdas y los ángulos de alabe entre:

$r = 0.1 R$; *Notamos que el valor más cercano de: $0.1R = 0.125$.*

$r = 0.5 R$; *Notamos que el valor más cercano de: $0.5R = 0.625$*

$r = 0.9 R$; *Notamos que el valor más cercano de: $0.9R = 1.125$.*

Para estos valores de r se calcularon los valores de C y siguientes:

Tabla 4.6 Determinación de la cuerda.

r(m)			c (m)		
0.125	1	0.1	0.2967	56.2°	52.3°
0.625	1	0.5	0.2373	42.3°	38.3
1.125	1	0.9	0.1893	32°	28°
1.25	1	1	0.1797	30°	26°

Fuente: Elaboración propia

Podemos linealizar las cuerdas y ángulos escribiendo.

$$c = a1 + a2 \quad \text{E.C. 4.17}$$

$$\beta = a3 + a4 \quad \text{E.C. 4.18}$$

Con los valores de C y r =0.625 y r =1.125 se encuentra las constantes a1, a2, a3, a4

$$0.2373 = 0.625a1 + a2$$

$$38.3 = 0.625a3 + a4$$

$$0.1893 = 1.125a1 + a2$$

$$28 = 1.125a3 + a4$$

Resolviendo este sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas obtenemos los siguientes resultados:

$$a1 = -0.96 \quad a2 = 0.2973$$

$$a3 = -20.6 \quad a4 = 51.2$$

$$C = 0.096r + 0.2973$$

$$\beta = -20.6r + 51.2$$

Diseño del rotor con un cubo de radio (0.1 R) r = 0.125 entonces se calcula las cuerdas y los ángulos del alabe a lo largo de toda la aleta.

$$C_{raiz} = -0.096 \times 0.125 + 0.2973 = 0.2853m$$

$$C(0.5R) = -0.096 \times 0.625 + 0.2973 = 0.2373m$$

$$C(0.9R) = -0.096 \times 1.125 + 0.2973 = 0.1893m$$

$$C_{extremo} = -0.096 \times 1.25 + 0.2973 = 0.1773m$$

$$\beta_{raiz} = -20.6 \times 0.125 + 51.2 = 48.6^\circ$$

$$(0.5R) = -20.6 \times 0.625 + 51.2 = 38.3^\circ$$

$$\beta(0.9R) = -20.6 \times 1.125 + 51.2 = 28^\circ$$

$$\beta_{extremo} = -20.6 \times 1.25 + 51.2 = 25.5^\circ$$

El resultado de la linealización se muestra en la figura donde aparece la forma del alabe y el alabeo:

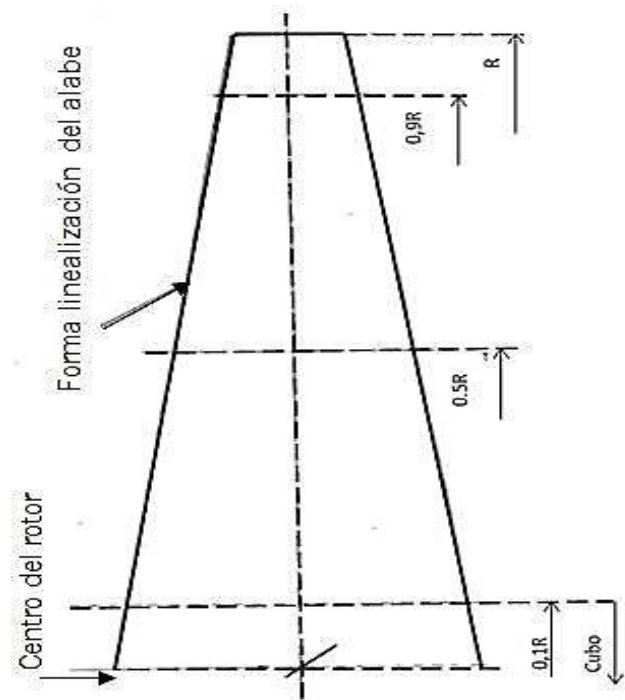


Fig. 4.4 Linealización y curvatura del alabe.

Fuente: Elaboración propia

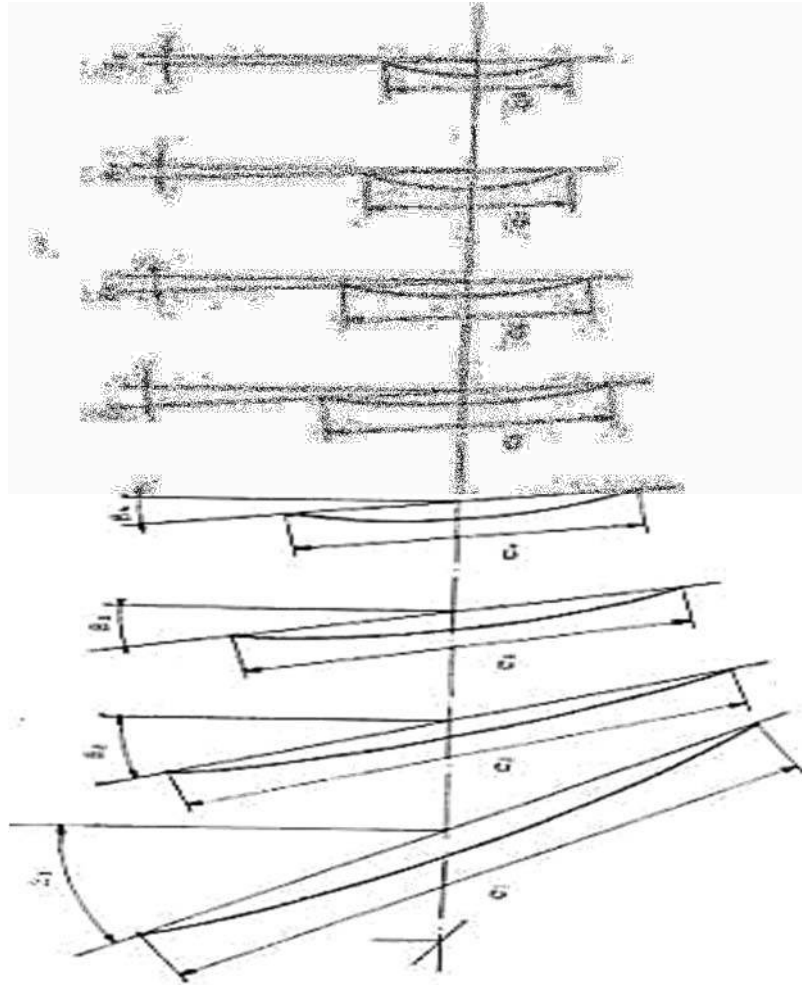


Figura 4.5 Forma del alabe, curvatura, y secciones transversales.

Fuente: Elaboración propia

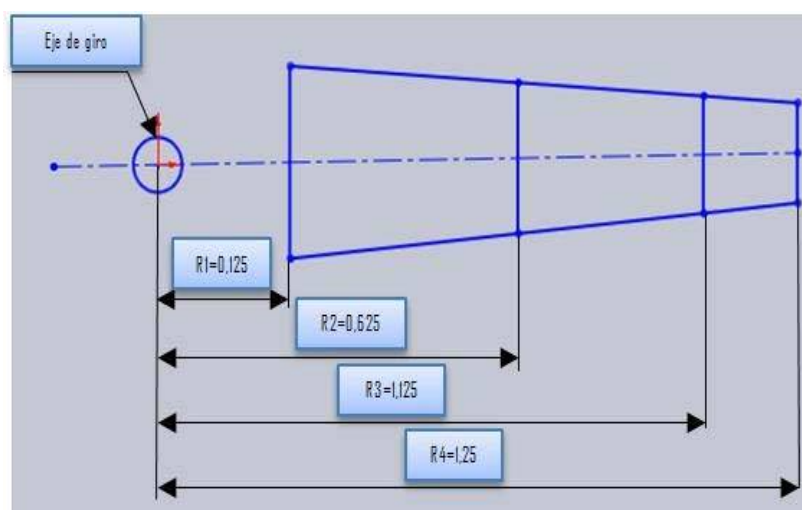


Figura 4.6 Vista superior de la pala, radios a diferentes secciones.

Fuente: Elaboración propia

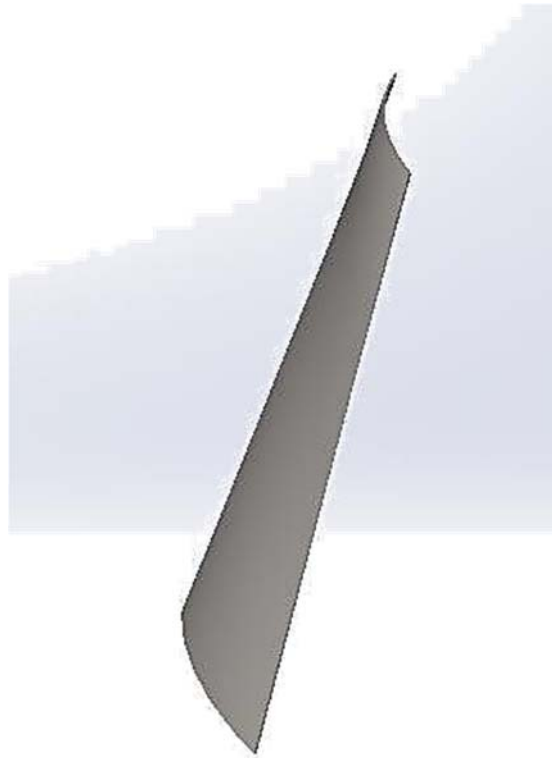


Fig. 4.7 Vista 3D de la pala.

Fuente. Elaboración propia

Material de la aleta.

Una vez diseñada la forma de la aleta de la eólica, el siguiente paso es tratar de seleccionar el material más adecuado para la fabricación de la misma.

El material utilizado para las palas debe ser:

- Ligero.
- Indeformable.
- Resistente a la fatiga mecánica.
- Resistente a la erosión y a la corrosión.
- Costo bastante bajo para que la eólica se pueda construir.

En nuestro caso lo aconsejable y más económico sería construir una pala de tol galvanizado debido a sus propiedades fabulosas entre las que se encuentra su gran resistencia a la abrasión, así como también a la corrosión.

Esta última característica produce tres excelentes efectos:

- La “protección por efecto de barrera” consta en la aislación frente a un medio ambiente que podría ser bastante agresivo.

- La “protección catódica o de sacrificio” es aquella en la que el zinc se comporta como la parte anódica de la corrosión, de este modo, mientras haya recubrimiento de zinc, entonces el acero estará protegido.
- La “restauración de zonas desnudas” se refiere a que la corrosión del zinc logra tapar aquellas discontinuidades que pueden existir en el recubrimiento a causa de la corrosión u otro tipo de daños, golpes fuertes.

Coeficiente de solidez.

Se entiende por coeficiente de solidez al porcentaje total de área geométrica solida del alabe que existe dentro del área de barrida por giro del rotor eólico, por lo que es necesario calcular la solidez del mismo.

$$\Omega = \frac{n \times c}{\pi \times R} \quad \text{E.C.4.19}$$

Dónde:

Ω = Coeficiente de solidez.

n = Número de palas.

c = Cuerda del perfil.

R = Radio del rotor

$$\Omega = \frac{12 \times 0.389}{\pi \times 1.25}$$

$$\Omega = 1.18$$

Superficie total de las palas.

Para esta sección se realiza un cálculo muy sencillo que se efectúa por medio de la siguiente expresión.

$$A_{FA} = \Omega \times A_{barrida} \quad \text{E.C. 4.20}$$

$$A_{FA} = 1.189 \times 4.9m^2$$

$$A_{FA} = 5.8m^2$$

Como se trata de una máquina de 12 palas la superficie de cada pala será igual:

$$A_p = \frac{5.8m^2}{12}$$

$$A_p = 0.46m^2$$

4.2.6.1 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL PERFIL.

Fuerza aerodinámica en movimiento.

Está definida como la resistencia que presenta un rotor eólico en rotación inmersos en una corriente de aire a cierta velocidad, por lo que en esta sección se realiza el cálculo de la fuerza en las condiciones a las que está sometido el alabe.

$$F_{aero} = 0.062A \times V^2 \quad \text{E.C. 4.21}$$

$$F_{aero} = 0.062 \times 4.9 \times 6.1^2$$

$$F_{aero} = 11.3 \text{ kg.}$$

Como la maquina tiene 12 palas, la fuerza aerodinámica correspondiente a cada una de ellas será de: 0.95 kg.

Fuerza estática aerodinámica

Se debe considerar que, si el rotor eólico se encuentra parado, pero inmerso en una corriente de aire a cierta velocidad se presenta una resistencia estática aerodinámica por cada alabe.

$$F_{est aerrd} = 2\Omega F_{aerod mov.} \quad \text{E.C. 4.22}$$

$$F_{est aerrd} = 2 \times 1.189 \times 11.5 \text{ kg}$$

$$F_{est aerrd} = 26.87 \text{ kg}$$

Para cálculo del espesor del perfil se tomará en cuenta un factor de seguridad de intervalos de 2 8 ya que se trata de una columna con espesores delgados (columna de Euler) se deben considerarse factores de seguridad muy amplios.

Material	=	ASTM A36
Sy	=	75 Kpsi (248.207 Mpa)
E	=	207* Mpa.
C	=	Condición de extremos.

La ecuación que debe utilizarse para definir la carga critica en este caso de columnas es:

$$\eta = \frac{P_{cri}}{P} \quad \text{E.C. 4.23}$$

Dónde:

η =4 para diseño de columnas.

P = 58.42 Psi Carga real de la columna.

$$P_{cri} = 235.66 \text{ Psi}$$

Utilizamos la ecuación de Euler para determinar

$$I = \frac{P_{cri} l^2}{C \pi^2 E} \quad \text{E.C. 4.24}$$

$$I = 4.81 \times 10^{-4} \text{ pulg}^4$$

Dónde:

I = Momento de inercia.

l = Longitud de la columna.

C = Condición de extremos.

Tabla 4.7 Constantes de condiciones de extremos para columnas de Euler

Constante C			
Condiciones de los	Valor	Valor	Valor
extremos de columnas	Teórico	conservador	recomendado
Empotrado - libre	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
Redondeado - redondeado	1	1	1
Empotrado - redondeado	2	1	1.2
Empotrado - empotrado	4	1	1.2

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica. Cuarta edición de Joseph Edward Shigley

Momento de inercia de una sección rectangular, con respecto al eje más débil:

$$I = \frac{wt^3}{12} \quad \text{E.C. 4.25}$$

$$t = 0.068 \text{ pulg.} \approx 1.6 \text{ mm}$$

Dónde:

w = Ancho 15.31 pul.

t = Espesor.

I = Momento de inercia

El radio de giro correspondiente a este espesor es:

$$k = 0.289t$$

$$k = 0.0197 \text{ pulg}$$

Por lo tanto, la relación de esbeltez:

$$\frac{l}{k} = \frac{24.6}{0.0197} = 1248.7$$

Comprobación si se trata de una columna de Euler:

$$\left(\frac{l}{k}\right)^2 = \sqrt{\frac{2C\pi^2 E}{sy}} \quad \text{E.C. 4.26}$$

$$\left(\frac{l}{k}\right)^2 = 98.73$$

Velocidad periférica del viento sobre el alabe.

$$u = \frac{\pi R n}{30} \quad \text{E.C. 4.27}$$

Tabla 4.8. Cálculo de la velocidad periférica

Sección	Radios (m)	Rpm	velocidad periférica (m/s)
1	0.125	46.6	0.61
2	0.625	46.6	3.05
3	1.125	46.6	5.49
4	1.25	46.6	6.09

Fuente: elaboración propia

Velocidad aparente del viento.

De acuerdo al triangulo de velocidades tendremos:

$$C = \sqrt{U^2 + V^2} \quad \text{E.C. 4.28}$$

Tabla 4.90 Cálculo de la velocidad aparente del viento.

sección	Radios (m)	Velocidad aparente (m/s)
1	0.125	6.13
2	0.625	6.82
3	1.125	8.21
4	1.25	8.62

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.10 Tabla de triangulo de velocidades.

sección	Radio	U(m/s)	V(m/s)	C(m/s)
1	0.125	0.61	0.61	6.13
2	0.625	3.05	0.61	6.82
3	1.125	5.49	0.61	8.21
4	1.25	6.09	0.61	8.62

Fuente: elaboración propia

4.2.6.2 FUERZAS SOBRE EL PERFIL EN MOVIMIENTO**Fuerza par**

Donde el par es una fuerza útil para el giro de la turbina, paralela a la velocidad del viento creada por el desplazamiento de giro del alabe. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_{par} = \frac{1}{2} \rho v^2 d S C_y \frac{\sin(\theta - \alpha)}{\sin^2 \theta \cos \alpha} \quad \text{E.C. 4.29}$$

Dónde:

$$dS = C \times r$$

$$\rho = 0.0899 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 6.1 \text{ m/s}$$

$$C_L = C_Y = 0.9$$

$$C_D = C_X = 0.018$$

Tabla 4.11 Obtención de fuerzas par.

sección	R c	fuerza par (N)
1	0.0357	0.6893
2	0.1483	3.3302
3	0.2129	5.8919
4	0.2216	6.4405

Fuente: elaboración propia

Fuerza axial

Es la que se manifiesta como un empuje del viento sobre el rotor, que es compensada por la reacción del soporte del eje del rotor. Se obtiene en base a la siguiente ecuación:

$$F_{par} = \frac{1}{2} \rho v^2 d S C_y \frac{\sin(\theta - \alpha)}{\sin^2 \theta \cos \alpha} \quad \text{E.C. 4.30}$$

Tabla 4.12 Obtención de fuerzas axiales

sección	R c	Fuerza axial (N)
1	0.0357	0.6398
2	0.1483	4.8509
3	0.2129	12.521
4	0.2216	14.786

Fuente: Elaboración propia

Fuerzas de arrastre y ascensional.

Fuerza de arrastre.

Se obtiene cuando un viento de velocidad aparente (c) pasa a la salida de un perfil móvil, esta fuerza corresponde a una degradación de energía y está dada por.

$$F_{axial} = \frac{1}{2} c x p c d s^2 \quad \text{E.C. 4.31}$$

Tabla 4.13 Obtención de fuerzas arrastre

sección	R *c	velocidad aparente(m/s)	Fuerza de arrastre(N)
1	0.0357	6.13	0.01085
2	0.1483	6.82	0.05581
3	0.2129	8.21	0.1161
4	0.2216	8.62	0.1332

Fuente: elaboración propia

Fuerza ascensional.

Llamada de sustentación o empuje, la cual se encarga de provocar el giro en la turbina, esta fuerza aumenta con el ángulo de ataque hasta un máximo y después disminuirá.

$$F_{ascensional} = \frac{1}{2} \rho v^2 c_d ds^2 \quad \text{E.C. 4.32}$$

Tabla 4.14 Obtención de fuerzas ascensional.

sección	R *c	velocidad aparente(m/s)	Fuerza de arrastre(N)
1	0.0357	6.13	0.5427
2	0.1483	6.82	2.7886
3	0.2129	8.21	5.8054
4	0.2216	8.62	6.6613

Fuente: elaboración propia

4.2.7 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

Los parámetros necesarios para dimensionar un sistema de Aerobombeo son:

- Caudal requerido en el lugar donde se vaya a ubicar la turbina.
- Altura de bombeo total.

Para conocer el punto de funcionamiento de la instalación en su totalidad es necesario conocer las características de las partes motrices que integran la Aerobomba así como del sistema hidráulico. Para calcular la energía necesaria de bombeo de agua, se necesita estimar las fuerzas que intervienen en el sistema hidráulico. Para lo cual se ha realizado un esquema explicativo que permitirá comprender el funcionamiento del sistema.

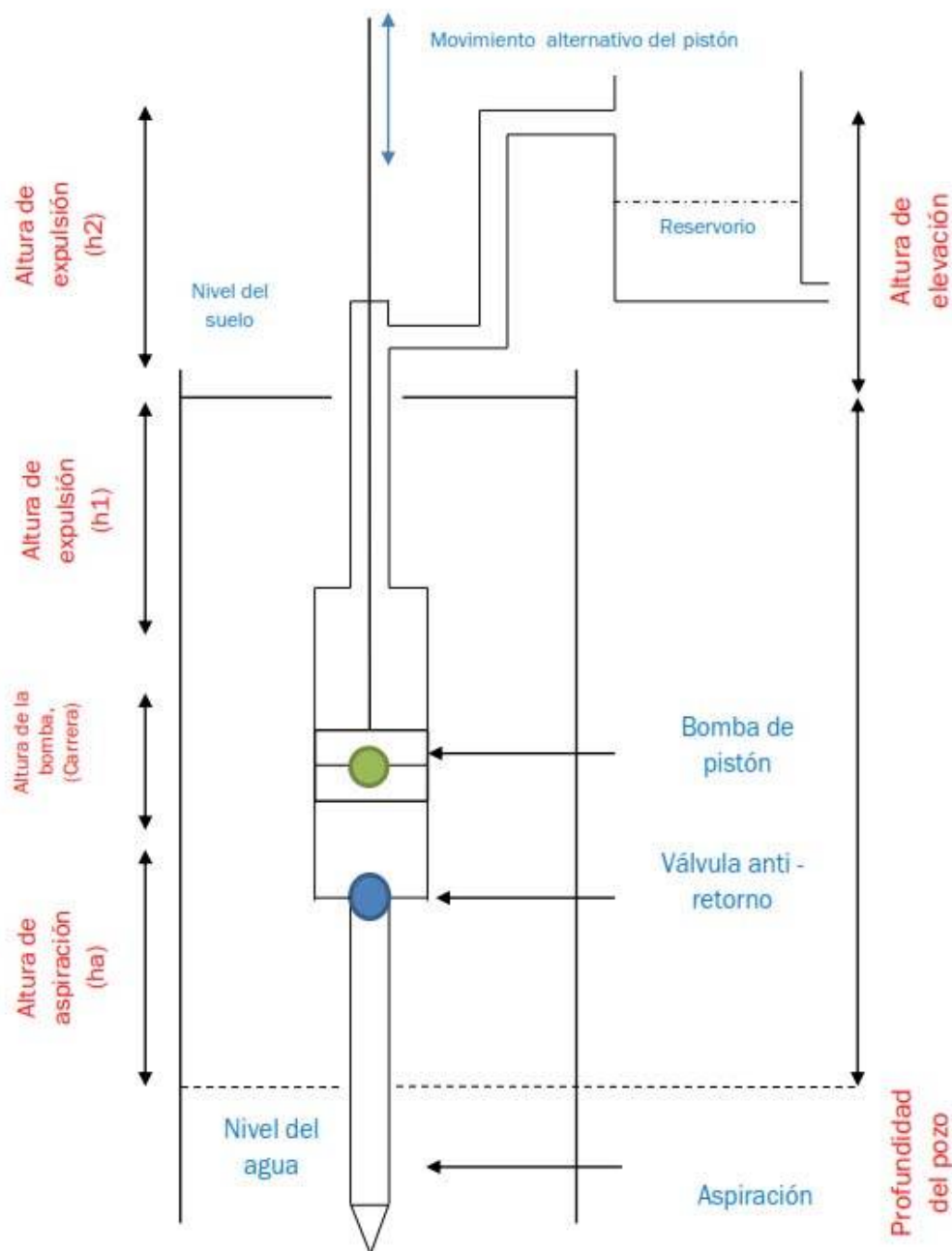


Fig. 4.8 Esquema hidráulico.

Fuente: elaboración propia

Para seleccionar la bomba se debe conocer los siguientes parámetros:

El caudal requerido en el lugar donde se realizó los estudios, es de $12.6 \text{ m}^3/\text{dia}$. $4.37 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1570 \text{ lt/h}$. trabajando 8 horas diarias para satisfacer las necesidades de riego ya que se trata de una finca agrícola.

Para seleccionar un diámetro de la bomba acorde con los requerimientos citados, se debe revisar las tablas de especificaciones de fabricantes de bombas.

Tabla 4.15 Capacidad de bombeo. Relación del diámetro del cilindro y rotor de la aerobomba.

CAPACIDAD DE BOMBEO								
Diámetro de interior de la bomba	Capacidad en litros por hora		Altura en metros a que puede elevarse el agua					
			DIÁMETRO DEL ROTOR					
	6 pies	8 pies	6 pies	8 pies	10 pies	12 pies	14 pies	16 pies
2 ¹ / ₄	680	1000	23	34	52	77	110	180
2 ¹ / ₂	850	1230	20	29	43	65	92	150
2 ³ / ₄	1000	1460	17	25	37	55	80	130
3	1200	1780	14	21	31	47	67	110
3 ¹ / ₄	-----	2075	-----	-----	27	40	57	93
3 ¹ / ₂	1670	2420	11	15	23	35	49	82
3 ³ / ₄	-----	2750	-----	-----	20	30	44	70
4	2150	3150	8	12	18	26	38	61

Fuente: Utilización de energía renovable para bombear agua, Juan Enciso y Michael Mecke.

Para la necesidad de 1.570 lt/h una bomba coherente, es la que tiene un diámetro interior de 3 pulgadas con una capacidad de 1780 litros / hora, altura a la que puede elevarse el agua es de 21 m. con un diámetro de rotor recomendado de 8 pies = 2.5 m.

Fuerzas que actúan en la bomba.

Existen fuerzas que intervienen en el momento en que la bomba está trabajando, aumentando la carga, para poder determinar el par necesario para que entre en movimiento el rotor es indispensable calcular las siguientes fuerzas:

- *La presión de la columna de agua en las tuberías.*

- *El peso de la varilla de transmisión y el pistón.*
- *Las pérdidas de carga debido a la viscosidad del fluido.*
- *La inercia del pistón y varilla de transmisión.*

Fuerza en el pistón debido a la columna de agua

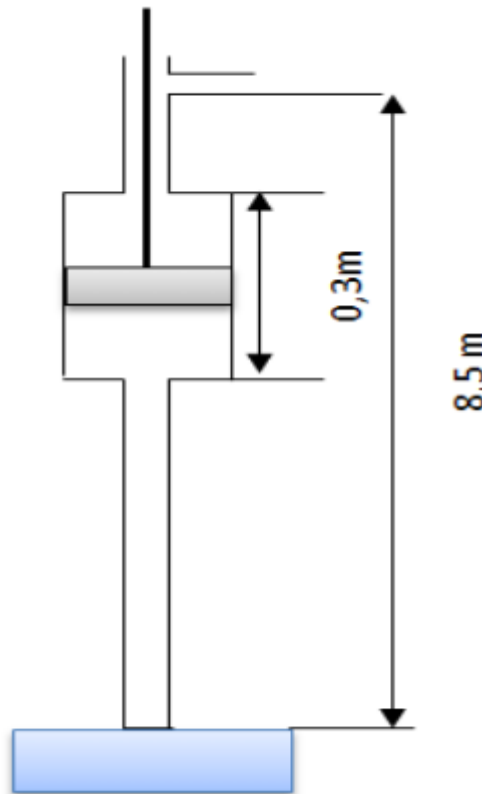


Fig. 4.9. Desplazamiento del pistón en función del ángulo de rotación.

Fuente: elaboración propia

Potencia requerida por la bomba, (ecuación de Bernoulli):

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{V_{fluido}^2}{2g} + h + \frac{k \cdot V_{fluido}^2}{2g} \quad \text{E.C.4.33}$$

Potencia requerida por la bomba, (Ecuación de Bernoulli)

P = Presión (N/m²)

Vf= Velocidad del fluido (m/s)

h = Altura de bombeo (m)

Coeficiente de pérdidas en ductos lisos

$$k = 0.28$$

$$\gamma = \text{Peso específico (N/m}^3\text{)}$$

$$g = \text{Gravedad (m/s}^2\text{)}$$

$$\text{Peso específico del agua } (\gamma = 98.10 \frac{N}{m^3})$$

Velocidad del fluido:

$$V_{fluido} = \frac{Q}{A_t} \quad \text{E.C.4.34}$$

Dónde:

$$Q = \text{caudal } \frac{m^3}{s}$$

$$A_t = \left(\text{diametro de la tubería } 1\frac{1}{4} \text{ pulgada} \approx 0.32m \right). \text{Area de la tubería } 7.92 \times 10^{-4} m^2$$

Reemplazando en la ecuación

$$V_f = \frac{2.92 \times 10^{-4} m^3/s}{7.92 \times 10^{-4} m^2}$$

$$V_f = 0.37 \frac{m}{s}$$

Reemplazando

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{(0.37 m/s)^2}{2 \times 9.81 m/s^2} + 15 + \frac{(0.28 \times (0.37 m/s^2)^2)}{2 \times 9.81 m/s^2}$$

$$\frac{P}{\gamma} = 15.02m.$$

Donde la presión es:

$$P = \gamma \times 15.02m$$

$$P = 147248 N/m^2$$

Fuerza en el pistón debido a la columna de agua en la tubería:

$$F1 = P \times A_t \quad \text{E.C.4.35}$$

$$F_1 = 116.6 \text{ N}$$

Fuerza del agua contenida en la bomba:

$$F_2 = A_b \times h_b \times \rho_{\text{agua}} \times g \quad \text{E.C.4.36}$$

Donde:

$$A_b = \text{Área de la bomba (m}^2\text{)}$$

$$H_b = \text{Altura de la bomba (m)}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/(m}^3\text{)}$$

$$g = 9.81 \text{ m/(s}^2\text{)}$$

Área de la bomba:

$$d_b = \text{Diámetro interno de la bomba: 3 pulgadas} = 0.075 \text{ m.}$$

$$A = \frac{\pi \times d_b^2}{4} \quad \text{E.C.4.37}$$

$$A = \frac{\pi \times (0.075 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 4.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Remplazando valores en la ecuación:

$$F_2 = 4.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_2 = 12.9 \text{ N}$$

Fuerza total en el pistón debido a la columna de agua:

$$F_3 = F_1 + F_2$$

$$F_3 = \underline{(116.7 + 12.9)}$$

N.

$$F_3 = 129.5 \text{ N.}$$

Volumen de carga de la bomba.

Según el fabricante la bomba está construida para trabajar con carrera máxima $S = 0.20$ m. se consideró que la bomba trabaje con $S = 0.10$ m para satisfacer el caudal requerido 12.6 / día, trabaja aproximadamente 8 horas diarias, por lo que necesita un caudal entregado por la bomba de $0.0263 \frac{m^3}{min}$

$$v_b = A \times S \quad \text{E.C.4.38}$$

$$v_b = 4.4 \times 10^{-3} m^2 \times 0.1 m$$

$$v_b = 4.4 \times 10^{-4} m^3$$

Dónde:

$v_b = \text{Volumen de la bomba en cada revolución } (m^3).$

$S = \text{Carrera del pistón } (m).$

Número de rpm (n) del rotor necesario para obtener el caudal requerido:

$$n = \frac{\text{volumen requerido por min}}{\text{volumen entregado por rev}} \quad \text{E.C.4.39}$$

$$n = \frac{0.0263 m^3/min}{4.4 \times 10^{-4} m^3/rev}$$

$$n = 59.8 rpm = 375.1 rad/min = 6.2 rad/seg$$

4.2.7.1 Pérdidas.

Pérdida de carga debido a la viscosidad del fluido. La bomba funciona de manera alternativa y el flujo de fluido no está en paso permanente.

Perímetro de giro del sistema de manivela

$$P = \pi \times s \quad \text{E.C.4.40}$$

$$P = \pi \times 0.1 m$$

$$P = 0.314 m$$

El pistón tiene una velocidad variable, para la cual se debe calcular la velocidad máxima del pistón y el ángulo de giro de la manivela.

Calculo de las pérdidas hidráulicas:

$$V_p = \omega * r * \sin \alpha + \lambda * \sin \alpha * \cos \alpha \quad \text{E.C.4.41}$$

Dónde:

V_p = Velocidad del pistón

ω = Velocidad de giro del rotor

r = Radio de la manivela

α = Angulo de giro de la manivela con respecto a la vertical

λ = Relación entre la longitud de la manivela y la biela

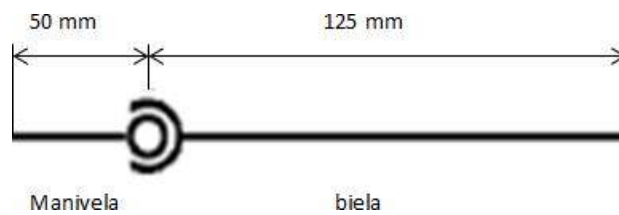


Fig. 4.10 Relación entre la longitud entre la biela y la manivela.

Fuente: elaboración propia

Remplazando valores se obtiene y comprueba gráficamente la máxima velocidad alcanzada por el pistón en el ángulo de giro de la manivela:

$$V_p = 0.37 \text{ m/s Aproximadamente a } 60^\circ$$

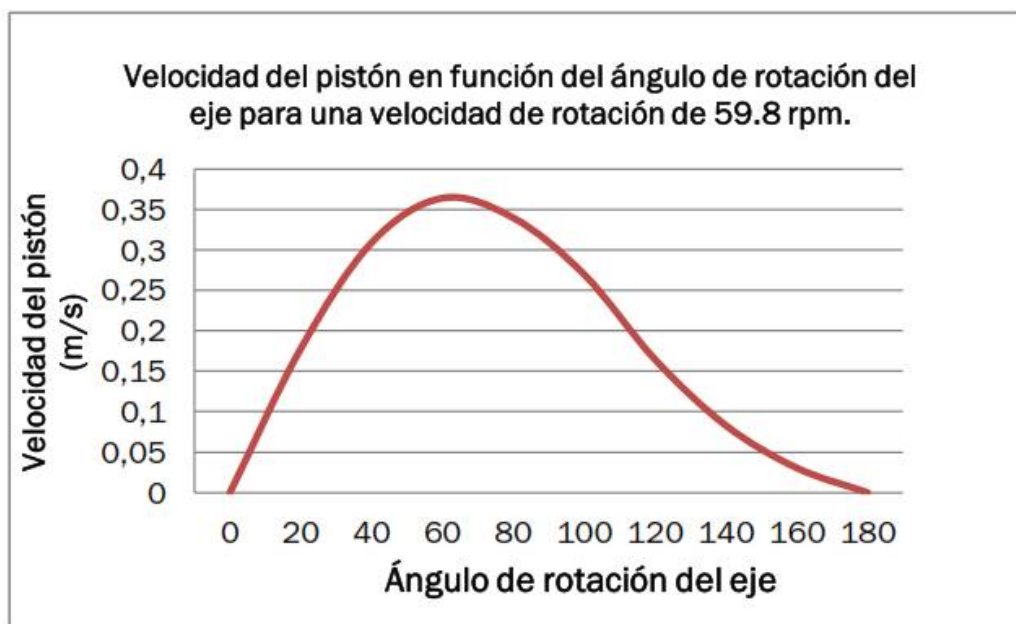


Fig. 4.11. Velocidad del pistón en función del ángulo de rotación.

Fuente: elaboración propia

4.2.7.2 Pérdidas de carga regulares

$$J = \varphi * \frac{L}{D_t} * \frac{V_f^2}{2g} \quad \text{E.C.4.42}$$

Donde:

J = Pérdida de carga regular (m).

φ = Coeficiente de fricción.

D_t = Diámetro del tubo (m).

V_f = Velocidad del fluido (m/s)

Altura de aspiración, ha.

La velocidad del fluido = 0.37 m/s para la tubería de diámetro de 1¼" \approx 0.032 m:

El número de Reynolds (Re), relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión a dimensional. Dicho número relaciona si el flujo es laminar o turbulento.

Para valores de Re menores o iguales a 2000 el flujo es laminar.

Para valores de Re mayores 4000 el flujo es turbulento

$$Re = \frac{V_f * D_t}{u} \quad \text{E.C.4.43}$$

$$Re = \frac{0.55 \frac{m}{s} * 0.032m.}{1.106 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 10705 > 4000 \text{ (flujo turbulento)}^{26}.$$

Donde:

V_f = Velocidad del fluido en una sección de la tubería (m/s).

u = Viscosidad cinemática del agua a 16°C $1.106 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

D_t = Diámetro de la tubería (m).

Coefficiente de fricción para los diferentes ramos de tubería:

$$\varphi = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$$

$$\varphi = 0.031$$

Remplazando valores para $h_a = 5$ m:

$$J = \varphi * \frac{L}{D_t} * \frac{Vf^2}{2g}$$

$$J = 0.036 \text{ m}$$

Altura de descarga 1 hd.

Esta sección de tubería será construida en P.V.C. El vástago de la bomba tiene un diámetro de 0.02 m. Está se encuentra dentro de la canalización de descarga, el diámetro de la tubería de 0.038 m .1 pulg.

Radio Hidráulico.

Es el cociente entre el área de la sección mojada y el perímetro mojado. El perímetro mojado es el contorno de la sección que está en contacto con el agua.

Cuando el fluido es transportado a través de un conducto de sección no circular o en su interior trabaja otro elemento en este caso el vástago de la bomba, el diámetro característico del tamaño del conducto se llama Radio hidráulico.

El radio hidráulico es igual a:

$$Hg = \frac{A}{P_M} \quad \text{E.C.4.44}$$

Donde:

$A = \text{Diferencia de áreas (vástago y tubería)}(m^2)$

Perímetro mojado

$$P_M = \pi(d_t + d_v) \quad \text{E.C.4.45}$$

$$P_M = \pi(d_t + d_v)$$

$$P_M = 0.182$$

Donde:

$d_t = \text{Diámetro del tubo (m)}$

$d_v = \text{Diámetro del vástago (m)}$

Reemplazando valores en:

$$H_R = \frac{\left(\frac{\pi * 0.02^2}{4} - \frac{\pi * 0.038^2}{4} \right) m^2}{0.182 \text{ m}}$$

$$H_R = \frac{\left(\frac{\pi * 0.02^2}{4} - \frac{\pi * 0.038^2}{4} \right) m^2}{0.182 \text{ m}}$$

$$H_R = 4.5 * 10^{-3} m.$$

Número de Reynolds asociado con la salida de fluido:

$$Re = \frac{V_{fluido} * RH}{u}$$

$$Re = \frac{0.55 \frac{m}{s} + 4.5 * 10^{-3} m}{1.106 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 1547 < 2000 \text{ (flujo laminar)}$$

Dónde:

$V_f = \text{Velocidad del fluido de descarga (m/s)}$

$Rh = \text{Diámetro característico de la canalización de descarga (m)}$.

$u = \text{Viscosidad cinemática del agua a } 16^\circ \text{C}.$

En este caso por tratarse de flujo laminar se aplica la siguiente fórmula para determinar el coeficiente de fricción:

$$\varphi = \frac{64}{Re}$$

$$\varphi = \frac{64}{1547}$$

$$\varphi = 0.041$$

Remplazando valores para determinar la pérdida regular en esa sección con longitud de canalización de 0.5 m. se tiene:

$$J = \varphi * \frac{L}{D_t} * \frac{Vf^2}{2g}$$

$$J = 4.0 * 10^{-3} m$$

Altura de descarga 2, hd.

Esta sección de tubería se construirá en tubería P.V.C con un diámetro de 0.032 m, 1¼" debido a que la salida de la bomba es del diámetro indicado. Remplazando valores en:

$$Re = \frac{Vf * D_t}{u}$$

$$Re = 10331 > 2000 \text{ (flujo turbulento)}$$

Remplazando valores en ecuación para conducto de salida no rugoso, se obtiene:

$$J = 0.107 m$$

4.2.7.3 Pérdidas de cargas singulares o localizadas.

Las pérdidas en cada uno de los elementos que componen el sistema de tuberías, son características de la velocidad del fluido y la forma del componente. Pérdidas de carga singular o localizada.

$$J = k * \frac{Vf^2}{2g} \quad \text{E.C.4.46}$$

Dónde:

$J = \text{Pérdida singular (m)}.$

$k = \text{Coeficiente de pérdidas para accesorios}.$

Coeficientes de pérdidas de carga en accesorios:

Tabla 4.16. Coeficiente de pérdidas de carga.

Válvula de anti- retorno	5
Ensanchamiento	0.56
Contracción	0.32
Te y codo	1.8
Pérdida de energía cinética a la salida al	1

Fuente: www.perdidashidraulicas.com

Tabla 4.17 Coeficiente de pérdidas de carga II.

Aspiración	Descarga
Válvula de pie 0.07 m (k= 4)	Contracción 0.004 m (k=0.19)
Perdida a la entrada 0.009 m (k =0.5)	Entrada a hr2 + anti retornó 0.009 m (k=0.5) + 0.19 (k=10)
Ensanchamiento 0.01 m (k= 0.56)	Perdida a la carga = 0.019 m(k=1)
Total de perdidas singulares de aspiración = 0.09	Total de perdidas singulares de descarga = 0.22m
Total de perdidas regulares J= 0.036 m	Total de perdidas regulares J= 0.111 m
Total de pérdidas de aspiración =	Total de perdidas descarga = 0.33 m
Total de perdidas = 0.46 m	

Fuente: elaboración propia

Fuerza generada por las pérdidas:

$$F_{per} = \rho_{agua} * g * \left((Jh_{asp} * A_b + Jh_{des} * A_b) \right) \quad \text{E.C.4.47}$$

$$F_{per} = 100 \frac{kg}{m^3} * 9.81 m/s^2 * (0.33m * 0.0044m^2)$$

$$F_{per} = 19.9 N$$

Dónde:

ρ = Densidad del agua (kg /).

g = Gravedad (m/).

A_b = Área de la bomba ().

Jh_{asp} = Perdidas en la altura de aspiración (m).

Jh_{des} = Perdidas en la altura de descarga (m).

4.2.8 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN (EJE DE TRANSMISIÓN Y PISTÓN).

Están sometidos a aceleración que provoca fuerza opuesta a su movimiento.

d varilla = 0.013 m long. = 10 m d pistón = 0.075 m h = 0.04 m

Aceleración del pistón en función del ángulo de rotación del eje para una velocidad de rotación máxima de $n = 59$ rpm.

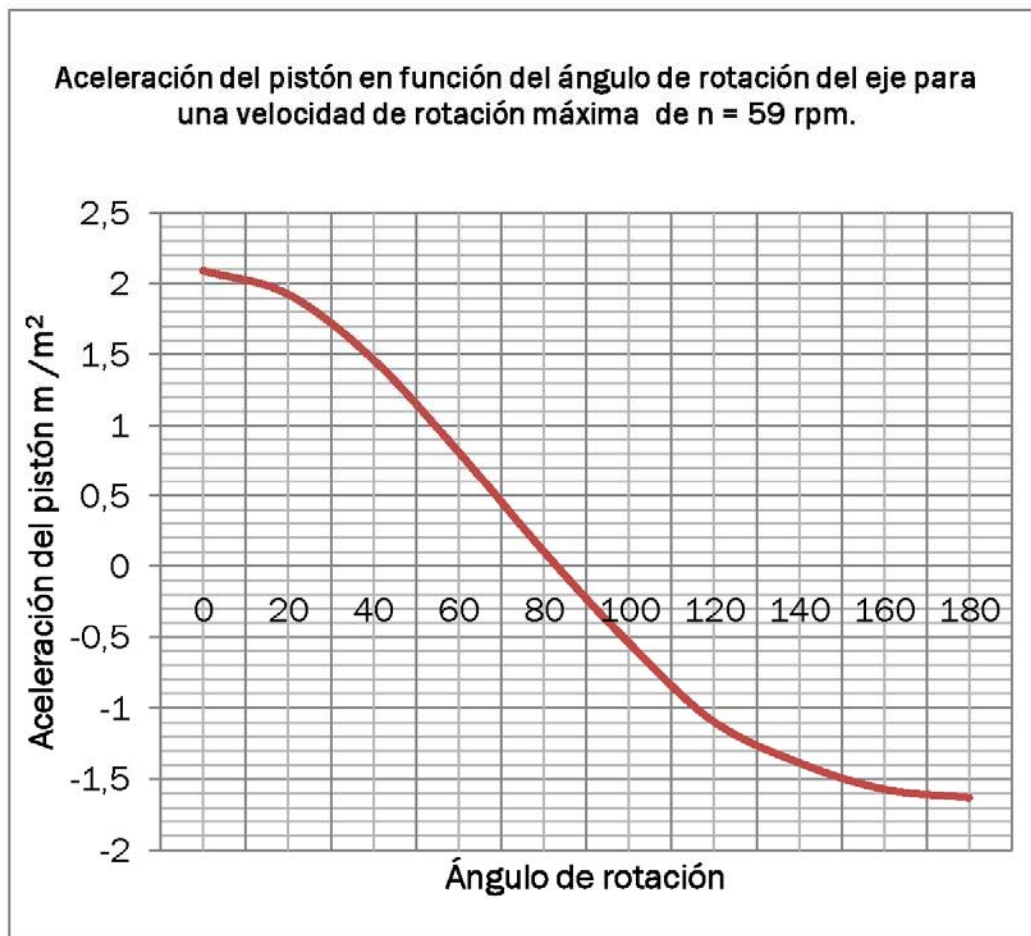


Fig. 4.12. Aceleración del pistón en función del ángulo de rotación.

Fuente: elaboración propia

Aceleración del pistón en cualquier punto de giro de la manivela

$$a = \omega * r * (\lambda \cos a + \lambda \cos 2a) \quad \text{E.C.4.48}$$

Dónde:

ω = Velocidad angular del rotor (6,1 rad /s).

r = Radio de la manivela (0.05m).

α = Ángulo girado por el cigüeñal contado desde el punto muerto superior.

λ = Relación entre la longitud de la biela y la manivela (0.23).

La aceleración máxima del pistón para una rotación de 59.8 rpm es de 2.09 m/s². Fuerza de inercia generada por el pistón:

$$F_i = m \cdot a \quad \text{E.C.4.49}$$

En el sistema biela-manivela hay partes que están sometidas a movimiento alterno como son el pistón, bulón, pie de biela etc. La manivela, pie de biela están sometidas a una fuerza centrífuga expresada mediante la ecuación:

$$F_C = m_C \cdot \omega^2 \cdot r_C \quad \text{E.C.4.50}$$

Dónde:

ω = Velocidad angular.

m_C = Masa de movimiento centrífugo (fuerza circular) (kg).

r_C = Distancia desde el centro de gravedad al eje de giro(m).

Como norma se considera que:

Masas con movimiento alternativo: pistón, bulón del pistón, 2/3 de la biela. Masas con movimiento circular, manivela, 1/3 de la biela.

Determinación de las masas con movimiento circular:

Masa de la manivela = 1.1 kg.

1/3 de la masa de transmisión = 3.5 kg.

Total = 4.6 masa con movimiento circular.

Determinación de las masas con movimiento alterno.

Pistón = 1 kg.

Bulón del pistón = 2.5 kg.

2/3 de la masa de la varilla de transmisión = 7.0 kg.

Total = 10.5 kg masa con movimiento alternativo. Fuerza alterna de inercia:

$$F = m \cdot a_{\text{máx}}$$

Dónde:

F = Fuerza alterna de inercia (N).

m_a = Masa con movimiento alterno (fuerza circular) (kg).

a_{max} = Aceleración máxima del pistón (m/s²).

Remplazando valores en la ecuación se obtiene

$$F_i = 10.5 \text{ Kg} \cdot 2.09 \text{ m/s}^2 = 21.9 \text{ N}.$$

Remplazando valores en la ecuación se obtiene:

$$F_c = m_c \cdot \omega^2 \cdot r_c$$

$$F_c = 4.6 \text{ kg} \cdot (6.1 \text{ rad/s})^2 \cdot 0.05 \text{ m}$$

$$F_c = 8.6 \text{ N}.$$

Fuerza de fricción.

La fuerza de fricción aparece cuando hay dos cuerpos en contacto, en el caso de la bomba los elementos en contacto son el empaque del pistón y el cilindro. En Y intervienen las siguientes fuerzas: el peso del pistón y la fuerza de rozamiento: $P - F_r = m_{\text{pistón}} \cdot a$

Dónde:

Masa del pistón = 3.5 kg

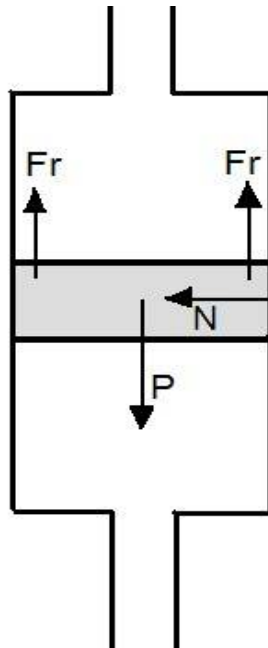


Fig. 4.13. Fuerzas actuantes en el pistón.

Fuente: elaboración propia

Remplazando valores.

$$P_{\text{pistón}} = m_{\text{pistón}} \cdot a$$

$$P_{\text{pistón}} = 3.5 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{\text{pistón}} = 34.3 \text{ N}$$

Despejando y remplazando

$$F_r = P - m_{\text{pistón}} \cdot a$$

$$F_r = 34.3 \text{ N} - 3.5 \text{ kg} \cdot 2.09 \text{ m/s}^2 \quad F_r = 27 \text{ N}$$

Peso propio de los elementos.

$$F_{\text{ele}} = m_{\text{ele}} \cdot g$$

$$F_{\text{ele}} = 15.3 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{ele}} = 150.1 \text{ N.}$$

Dónde:

m_{ele} = Masa de elementos (kg).

Masa de la manivela = 1.1 kg.

Masa de la varilla de transmisión = 10.7 kg.

Masa del pistón = 3.5 kg.

Masa total de los elementos = 15.3 kg

Fuerza de bombeo necesaria

$$F_b = F_{\text{pistón}} + F_{\text{per}} + F_i + F_r + F_{\text{ele}}$$

$$F_b = (129.5 + 19.9 + 21.9 + 27 + 150.1) \text{ N}$$

$$F_b = 348.4 \text{ N.}$$

Dónde:

F_b = Fuerza total de bombeo (N).

F_{pistón} = Fuerza de la columna de agua sobre el pistón (N).

F_{per} = Fuerza generada por las pérdidas hidráulicas (N).

F_i = Fuerza de inercia (N).

4.2.9 SISTEMA DE TRANSMISIÓN. BIELA Ó VARILLA DE TRANSMISIÓN.

La biela es el elemento que permite la transmisión de movimiento de rotación del rotor hacia la bomba, sufrirá un esfuerzo a fatiga porque se somete la fuerza de una manera cíclica. La biela sufre tracción de $F_b = 348.4 \text{ N}$.

Datos del material:

$$H = 10 \text{ m}$$

$$D = 0.013 \text{ m}$$

Acero ASTM A36

$$F_y = 36 \text{ Kpsi}$$

$$F_u = 50 \text{ Kpsi}$$

$$E = 207 \text{ Gpa}$$

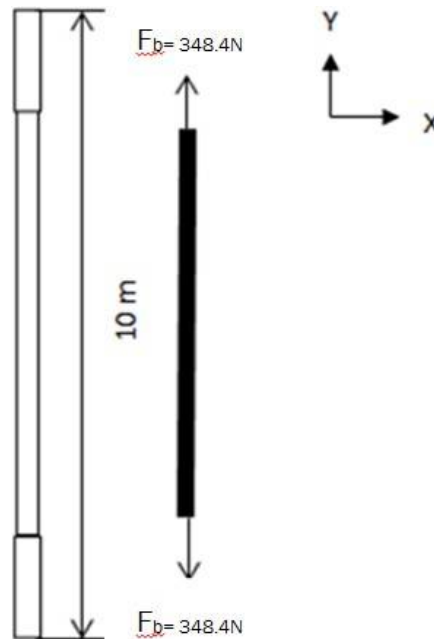


Fig. 4.14. Esquema de fuerzas ejercidas sobre la biela.

Fuente: elaboración propia

Peso de la varilla de transmisión:

$$P_{varilla} = P_{acero} * V_{var} * g \quad \text{E.C.4.51}$$

$$P_{varilla} = \frac{7800 \text{ kg}}{\text{m}^3} * \left(\pi * \frac{(0.013 \text{ m})^2}{4} * 10 \text{ m} \right) * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{varilla} = 101.6 \text{ N}$$

El área que opone resistencia a la fuerza de tracción es la sección circular transversal de la barra:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0.013^2 m^2}{4}$$

$$A = 1.33 * 10^{-4} m^2$$

Tensión por tracción es:

$$\sigma = \frac{T}{A \text{ varilla}}$$

$$\sigma = \frac{348.4 \text{ N}}{1.33 * 10^{-4} m^2}$$

$$\sigma = 2.6 \text{ MPa.}$$

Dónde:

σ = Tensión por tracción (MPa).

T = Tensión o fuerza aplicada (N).

Deformación debido a la carga axial de tracción:

$$\delta = \frac{\sigma * L}{E}$$

E.C.4.52

$$= \frac{2.6 * 10^6 \frac{N}{m^2} * 10m}{207.10^9 \frac{N}{m^2}}$$

$$\delta = 1.3 * 10^{-4} m$$

$$\delta = 0.13 \text{ mm}$$

Dónde:

δ = D deformación (m).

L = Longitud de la varilla (m).

E = Módulo de elasticidad (GPa.).

Carga permisible o tolerable:

$$T = (0.6 * Fy) * V_{varilla}$$

$$T = \left(0.6 * 25 * 10^6 \frac{kg}{m^2}\right) * (1.33 * 10^{-4} m^2)$$

$$T = 1995 \text{ kg.}$$

$$T = 19571 \text{ N.}$$

La carga permisible es mayor a la carga real aplicada en el elemento:

$$19571 \text{ N} > F_b = 348.4 \text{ N.}$$

En el sistema biela - manivela intervienen varias fuerzas de las cuales varias ya fueron calculadas anteriormente.

Carga total necesaria de la bomba para lograr el bombeo, en esta carga están incluidas todas las fuerzas.

$P_u = 175.3 \text{ W}$ Ya determina.

Dónde:

P_u = Potencia útil (w).

Análisis de elementos que conforma la manivela

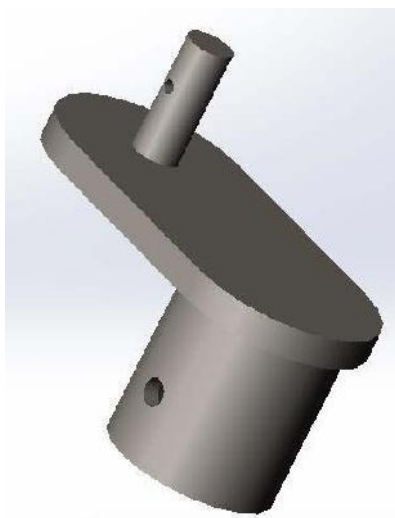


Fig. 4.15. Esquema de la manivela.

Fuente: elaboración propia

En la figura se observa el esquema de fuerzas y distancias correspondientes a determinar los momentos que afectan a cada uno de los componentes de la manivela.

Tramo C-D:

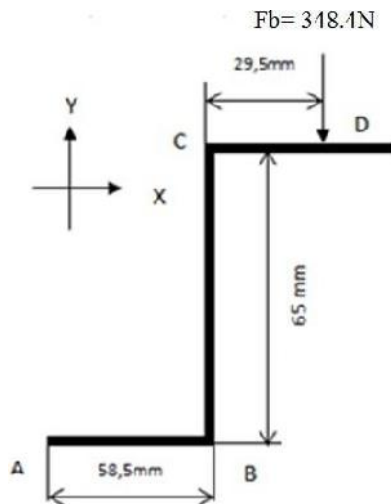


Fig. 4.16. Esquema de fuerzas de la manivela.

Fuente: elaboración propia

Tramo C-D:

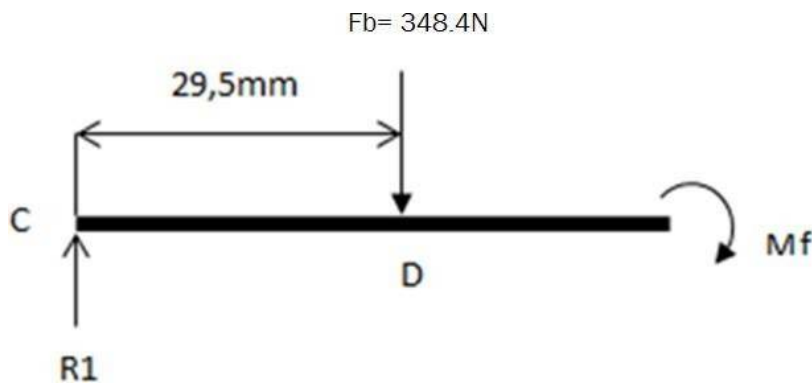


Fig. 4.17. Esquema de fuerzas tramo C-D.

Fuente: elaboración propia

Momento flector en el tramo C-D, con respecto al punto C:

$$M_f = F_B \cdot d$$

$$M_f = 348,2 \text{ N} \cdot 0,0295 \text{ m}$$

$$M_f = 10,3 \text{ Nm.}$$

Cálculo el esfuerzo máximo en flexión:

$$\sigma_F = \sigma_x = \frac{M_f}{z}$$

E.C.4.53

$$z = \frac{\pi * D^3}{32}$$

$$\sigma_F = \sigma_x = \frac{10.3 \text{ Nm} * 32}{\pi * (0.014 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_F = \sigma_x = 38.2 \text{ MPa.}$$

Dónde:

σ_f = Esfuerzo de flexión (N/).

Df = Momento flector (Nm).

z = Módulo de sección.

D = Diámetro (m)

Aplicando la Teoría del Esfuerzo Normal Máximo, se calcula los esfuerzos principales:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

E.C.4.54

$$\sigma_{1,2} = \frac{38.2 \text{ MPa}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{38.2 \text{ MPa}}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_{1,2} = 19.1 \pm 19.1$$

$$\sigma_{1,2} = 38.2 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{1,2} = 0.0 \text{ Mpa}$$

Mpa. Esfuerzo cortante máximo:

$$\pi_{1,2} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\pi_1 = 19.1 \text{ MPa.}$$

$$\pi_2 = 19.1 \text{ MPa.}$$

Factor de seguridad () con el que está trabajando el elemento:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_1}$$

E.C.4.55

$$n = \frac{248 \text{ Mpa}}{38.2 \text{ Mpa}}$$

$$n = 6.5$$

Dónde:

η = Factor de seguridad.

S_y = Limite de fluencia (248MPa).

σ_1 = Esfuerzo normal máximo (MPa).

Mediante el factor de seguridad obtenido, el elemento está sobredimensionado, pero nos garantiza rigidez y estabilidad para trabajar correctamente.

Tramo B-C

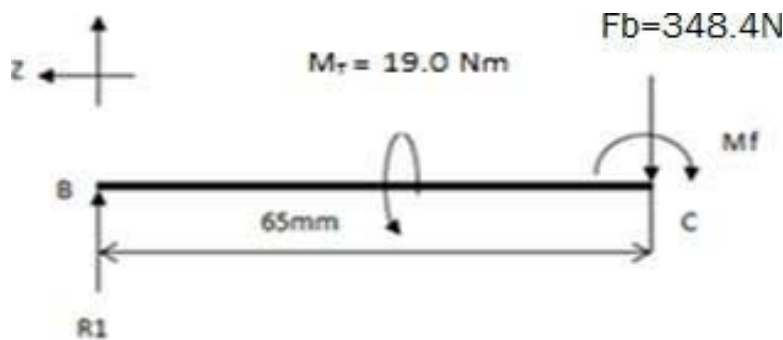


Fig. 4.18. Esquema de fuerzas tramo B-C.

Fuente: elaboración propia

Cálculo del momento flector en el tramo B-C, con respecto al punto B.

$$MF = 348.4 \text{ N} \cdot 0.065\text{m}.$$

$$MF = 22.6 \text{ Nm}.$$

Esfuerzo máximo en flexión, para el cálculo de la sección rectangular existen algunas variantes:

$$Z = \frac{I}{c} \quad \text{E.C.4.56}$$

Dónde:

Z = Módulo de sección.

σ_f = Esfuerzo de flexión (N/m^2).

M_f = Momento flector (N/m).

D = Diámetro (m).

I = Momento de inercia (m^4).

c = Distancia al eje neutro (m)

Momento de inercia para una sección rectangular

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

E.C.4.57

Dónde:

I = Momento de inercia (m^4). b = Base del rectángulo (m).

h = Altura del rectángulo (m).

$$\sigma_F = \sigma_x = \frac{M_F \cdot c \cdot 12}{b \cdot (h)^3}$$

$$\sigma_F = \sigma_x = \frac{45.2 \cdot 0.03m \cdot 12}{0.009m \cdot (0.06m)^3}$$

$$\sigma_F = \sigma_x = 8.4 MPa$$

Esfuerzo de torsión, w y t no se pueden intercambiar porque t debe ser la dimensión más corta.

$$\tau_{XY} = \frac{M_T}{w \cdot t^2} \left(3 + \frac{1.8}{\frac{w}{t}} \right)$$

$$\tau_{XY} = \frac{10.3Nm}{0.06m \cdot (0.009)^2} \cdot \left(3 + \frac{1.8}{\frac{0.06}{0.009m}} \right)$$

$$\tau_{XY} = 6.9 MPa.$$

Dónde:

τ_{xy} = Esfuerzo por torsión (N/m^2).

w = Ancho (m).

t = Espesor (m).

Teoría del esfuerzo Normal Máximo, por lo tanto, se necesita el cálculo de los esfuerzos principales.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{8.4 \text{ MPa}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{8.4 \text{ MPa}}{2}\right)^2 + (6.9 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_{1,2} = 3.05 \text{ MPa} \pm 5.87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 12.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -3.9 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{1,2} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\tau_1 = 9.1 \text{ MPa.}$$

$$\tau_2 = -9.1 \text{ MPa.}$$

Factor de seguridad, tramo B-C.

Acero ASTM A36 (anexo 9)

Límite de fluencia (S_y) = 250 MPa.

Resistencia a la tracción (S_u) = 410 MPa.

Para determinar el factor de seguridad se aplica la ecuación

$$n = \frac{300 \text{ MPa}}{263.4 \text{ MPa}}$$

$$n = 1.2$$

Mediante el factor de seguridad obtenido el elemento está sobredimensionado, pero por estética, estabilidad, rigidez es apto para trabajar correctamente.

Tramo A-B

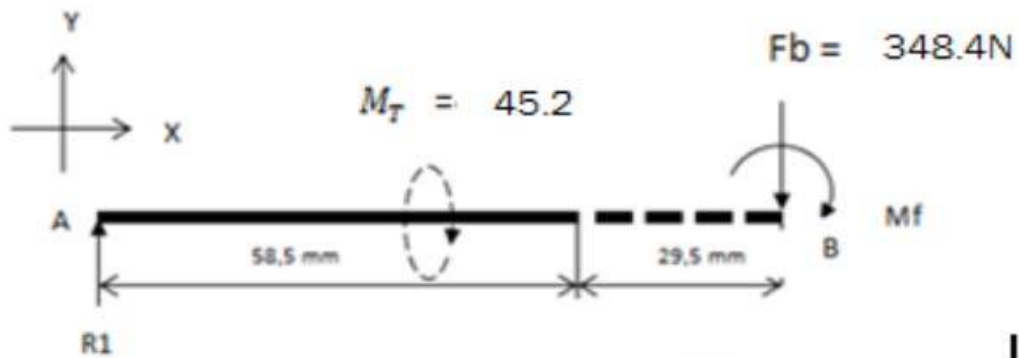


Fig. 4.19. Esquema de fuerzas tramo A-B.

Fuente: elaboración propia

Momento flector en el tramo A-B, con respecto al punto A:

$$MF = 348.4 \text{ N} * 0.088 \text{ m}$$

$$MF = 30.7 \text{ Nm}$$

Esfuerzo máximo en flexión (6.57):

$$\sigma_F = \frac{M_F}{Z}$$

$$\sigma_F = \sigma_X = \frac{30.7 \text{ Nm} * 32}{\pi * (0.05 \text{ m} - 0.039)^3}$$

$$\sigma_X = 234.9 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de torsión máximo:

$$\tau_{max} = \frac{M_T * r}{J}$$

$$\tau_{max} = \frac{M_T * 16}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{max} = \frac{22.6 \text{ Nm} * 32}{\pi * (0.05 \text{ m} - 0.039)^3}$$

$$\sigma_{max} = 86.5 \text{ MPa}$$

Dónde:

τ_{max} = Esfuerzo máximo de torsión (MPa).

M = Momento torsor, calculado (Nm).

r = Radio del elemento (m).

J = Momento polar de inercia (m4).

d = Diámetro del elemento (m).

Teoría del esfuerzo Normal Máximo, por lo tanto, se necesita el cálculo de los esfuerzos principales

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{234.9 \text{ MPa}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{234.9 \text{ MPa}}{2}\right)^2 + (86.5 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_{1,2} = 117.5 \text{ MPa} \pm 145.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 263.4 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = -28.4 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{1,2} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\tau_1 = 145.9 \text{ MPa.}$$

$$\tau_1 = -145.9 \text{ MPa.}$$

Factor de seguridad () tramo B-C.

Factor de seguridad:

Material AISI 1010

Sy = 300 Mpa

Sut = 370 Mpa

$$n = \frac{300 \text{ MPa}}{263.4 \text{ MPa}}$$

$$n = 1.2$$

Mediante el factor de seguridad obtenido, el elemento está diseñado para trabajar correctamente, este segmento se encuentra montado sobre el eje.

4.2.10 Cavitación.

Ecuación de la altura de funcionamiento en un punto donde no existe cavitación la altura de aspiración 1 debe respetar el criterio siguiente:

$$ha_1 < 10 - \frac{V_e^2}{2g} - J_{HA} \quad \text{E.C.4.58}$$

$$ha_1 < 9.5 \text{ m}$$

Dónde:

ha = Altura de aspiración (m).

JHA = Perdidas de carga total en la sección de aspiración (0.46 m).

Ve = Velocidad de entrada del fluido (0.37 m/s).

g = Gravedad (m/s²).

Se debe conservar esta altura de aspiración $ha < 9.5 \text{ m}$ para evitar la cavitación, si sobrepasa esta altura de aspiración se sobrecarga el sistema.

4.2.11 Golpe de ariete.

En el análisis previo de la máquina se estableció que no existe golpe de ariete debido a que las velocidades alcanzadas dentro de la tubería son relativamente bajas como para alcanzar sobrepresiones y depresiones y los tramos de tubería son cortos, además se utilizan válvulas de pie que son dispositivos recomendados para reducir el golpe de ariete, otra de las características es que “para que exista golpe de ariete debe existir una pendiente hidráulica en succión de al menos 50° lo cual implica un aumento de velocidad en el fluido y un cierre de válvulas rápido”

La fuerza necesaria para el óptimo funcionamiento del sistema hidráulico es menor a la fuerza entregada por el rotor que es de $F_{\text{máx}} = 348.4 \text{ N}$. por lo cual el dimensionamiento de los elementos y el diámetro del rotor es el correcto.

4.2.12 DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO DEL EJE DEL ROTOR

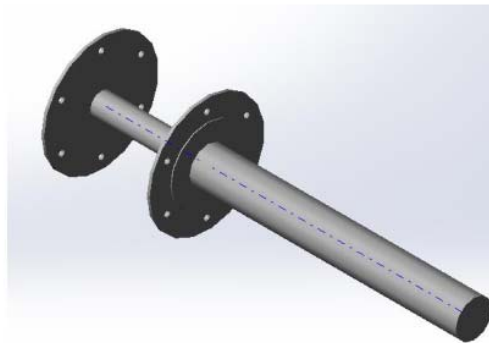


Fig. 4.20. Eje del rotor.

Fuente: elaboración propia

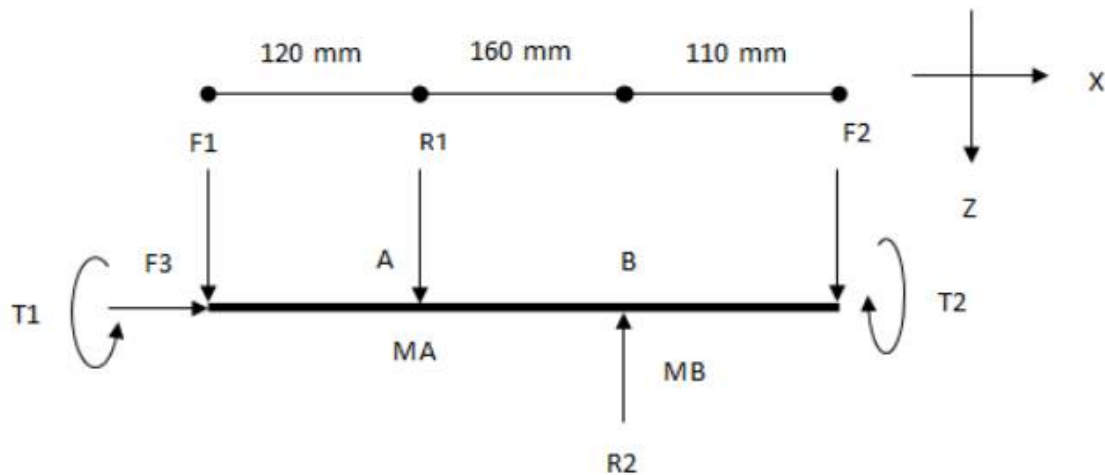


Fig. 4.21. Esquema de las fuerzas ejercidas sobre el eje del rotor.

Fuente: elaboración propia

Estimación de fuerzas aplicadas en el eje.

Peso propio del eje estimado en 2 kg \approx 19.62 N.

F1: Peso del rotor. - Conociendo la densidad del acero que es 7800 kg /m³, se tiene una masa total aproximada de los elementos que conforman el rotor de 49.36 kg, tomando en cuenta los elementos de acople, es decir, pernos y tuercas de sujeción de palas, abrazaderas; sumados dichos elementos se hace un acercamiento de $m_T = 53$ kg. Lo que da un peso de:

$$F1 = 53 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F1 = 520 \text{ N.}$$

F2: Fuerza de bombeo del agua:

Con par entregado por el rotor hacia el eje de: $T2 = T1 = 13.0 \text{ Nm}$.

Se tiene una fuerza entregada para el bombeo de: $F2 = 348.4 \text{ N}$.

La fuerza F2 se considera fluctuante para el dimensionamiento de los elementos $F2 = 348.4 \text{ N}$. en un momento de la tracción.

$F2 = 0$ en el momento de la compresión.

F3: FUERZA DE ARRASTRE DE LAS PALAS DE LA AEROBOMBA:

La fuerza de arrastre de las palas debe ser el mínimo, porque significa que la fuerza del viento se transforma al máximo en el momento del empuje. Para este estudio se ha basado en los datos de las palas de una eólica JOBER para un diámetro de rotor de 2.5 m. el coeficiente de arrastre es de $C_D = 0.03$ con el coeficiente de seguridad de 5.

$$C_D' = 0.15$$

Fuerza axial en el rotor:

Con $V_{\text{máx del viento}} = 15.1 \text{ m/s}$.

$$F_3 = C_p' * \frac{1}{2} * \rho_{\text{aire}} * V^2 * S$$

$$F_3 = 84.31 \text{ N}.$$

Dónde:

$C_p' = \text{Coeficiente de arrastre } 0.15$.

$\rho_{\text{aire}} = \text{Densidad del aire } \rho = 0.899 \text{ kg/m}^3$.

$S = \text{Área de barrido del rotor } (A = 4.93 \text{ m})$.

La fuerza (F_3) es de compresión y no es significativa debido a que no afecta en el cálculo, de tal manera que para el cálculo del eje no se tomará en cuenta. Sin embargo, será considerada para determinar los rodamientos.

Diagrama de cortantes y momentos en el eje.

$$\downarrow + \sum F = 0$$

$$F_1 + F_2 - R_1 - R_2 = 0$$

$$\curvearrowright + \sum M(A) = 0$$

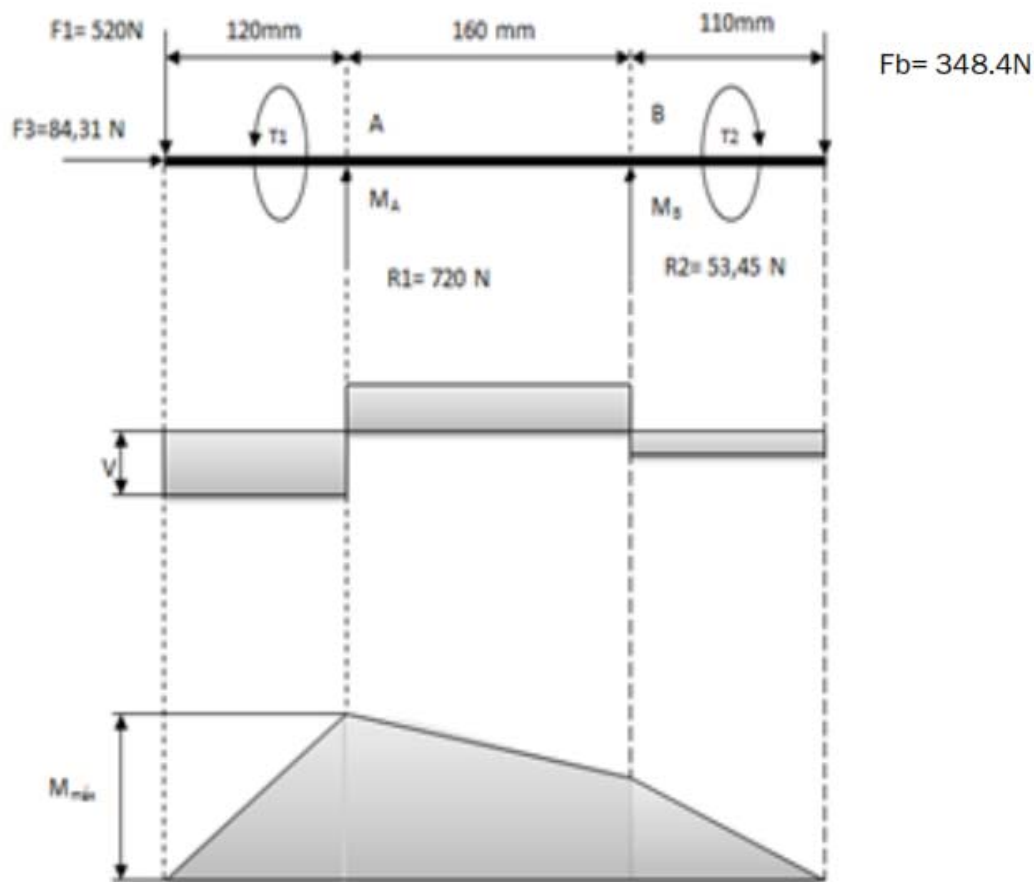


Fig. 4.22. Diagrama de momentos flectores en el eje.

Fuente: elaboración propia

Despejando la fuerza de reacción en los rodamientos, de la ecuación

$$-520\text{ N} \cdot 120\text{ mm} - R_2 \cdot 160\text{ mm} + 348,4\text{ N} \cdot 280\text{ mm} = 0$$

$$R_2 = \frac{348,4\text{ N} \cdot 280\text{ mm} - 520\text{ N} \cdot 120\text{ mm}}{160\text{ mm}}$$

$$R_2 = 219,7\text{ N} \quad R_1 = 648,5\text{ N}$$

Momento:

$$M(A) = 520 \cdot 0,12 = 62,4\text{ Nm.}$$

$$M(B) = 348,4 \cdot 0,11 = 38,3\text{ Nm.}$$

Para dimensionar un eje en rotación, es necesario proceder según las siguientes comprobaciones:

- Resistencia.
- Fatiga

Cálculo por resistencia

Existe dentro del código ASME una fórmula para determinar el diámetro de un eje basado en la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo.

Diámetro del eje:

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_{adm} (1+K^4)} * \sqrt{\left[K_f * M_f + \frac{a * d * F_a}{8} (1 + K^2) \right]^2 + (k_t * T)^2} \quad \text{E.C.4.59}$$

Dónde:

K_f = Factor de concentración de esfuerzos en fatiga.

K_t = Factor de concentración de esfuerzos teórico.

k = Eje sólido (0), al ser hueco $k = d/D$.

M_f = Momento flector;

T = Momento torsor; $T = 13 \text{ Nm}$.

F_a = Carga axial $F = 84.31 \text{ N}$ (F3).

τ_{adm} = Esfuerzo cortante admisible.

d = Diámetro estimado del eje 25.4 mm.

Tabla 4.18. Tipo de cargas y valores de k_f y k_t aplicadas

	Tipo de carga	k_f	k_t
Eje estacionario	Gradual	1	1
	Brusca	1.5 – 2	1.5 -2
Eje giratorio	Gradual	1.5	1
	Constante	1.5	1
	brusca	1.5 - 2	1 -1.5
	Choque ligero	1.5 - 2	1 -1.5
	choque	2 - 3	1.5 -1

Fuente: Proyecto Arthur Gauvain

El eje está en movimiento giratorio y las cargas son consideradas graduales en flexión y pueden ser bruscas en torsión. Dónde:

$$k_f = 1.5$$

$$k_t = 1.5$$

$\alpha = 1$, para las cargas en tracción

$$\alpha = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{1}{1 - 0.004 * \left(\frac{1}{\rho}\right)} & \frac{1}{\rho} \leq 115 \\ \frac{s_y * \left(\frac{1}{\rho}\right)}{\pi^2 * n * E} & \frac{1}{\rho} > 115 \end{array} \right.$$

Dónde:

I = Momento de inercia del eje circular. S_y = Resistencia a la fluencia.

E = Módulo de elasticidad.

l = Longitud del eje.

Radio de giro:

$$\rho = \sqrt{\frac{1}{A}} = k \quad \text{E.C.4.60}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{(\pi * d^4)/64}{(\pi * d^2)/4}} = 1.5 \text{ mm}$$

Remplazando de la ecuación se obtiene:

$$\frac{l}{\rho} = 26 \leq 115$$

Entonces se remplaza en:

$$\alpha = 1$$

El diámetro del eje es $d = 0.0254 \text{ m}$. y la fuerza axial calculada $F_a = F_3$ es de 84.31 N .

$$\tau_{adm} = 54.2 \text{ MPa.}$$

Esfuerzo cortante admisible:

Sin chaveta:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{adm} = 0,3 \cdot S_y \\ \tau_{adm} = 0,18 \cdot S_u \end{array} \right.$$

Con chaveta:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{adm} = 0,3 \cdot 0,75 \cdot S_y \\ \tau_{adm} = 0,18 \cdot 0,75 \cdot S_u \end{array} \right.$$

Características del acero AISI 1010.

$S_y = 300 \text{ MPa};$

$S_y = 36 \text{ ksi}.$

$S_u = 370 \text{ MPa}.$

$E \text{ para aceros} = 207 \text{ GPa}.$

El menor valor del esfuerzo cortante admisible es escogido en cada uno de los casos por seguridad, debido a que el riesgo de falla tiende a ser menor.

Remplazando se obtiene el esfuerzo cortante admisible, para el material seleccionado:

$$\tau_{adm} = 67.5 \text{ MPa}.$$

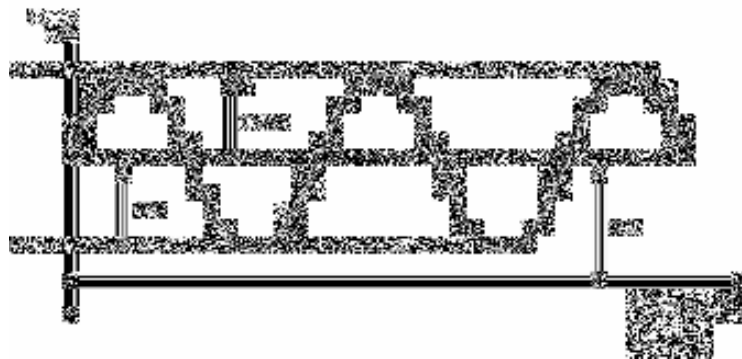


Fig. 4.23. Esquema de un esfuerzo fluctuante.

Fuente: Proyecto Arthur Gauvain.

Esfuerzo por flexión y esfuerzo cortante por torsión:

$$\sigma_x = \frac{MC}{I} + \frac{F}{A} \quad o \quad \sigma_x = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3} + \frac{4 * F_a}{\pi * d^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 * T}{\pi * d^3}$$

Dónde:

σ_x = Esfuerzo de flexión (Pa).

τ_{xy} = Esfuerzo a torsión (Pa). M_f = Momento flector (Nm).

T = Momento torsor (Nm).

I = Momento de inercia de la sección transversal respecto a su eje neutral.

C = Distancia del eje neutral a la fibra más exterior de la sección transversal del eje.

Los límites son:

$$\sigma_x = \frac{32 * M_{fmax}}{\pi * d^3} + \frac{4 * F_a}{\pi * d^2} = 205.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 102.6 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_m = 102.6 \text{ MPa.}$$

MPa. Límites de esfuerzos cortantes:

$$\tau_{max} = \frac{16 * T_{max}}{\pi * d^3} = 4.4 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = 2.02 \text{ Nm.}$$

$$\tau_m = 2.02 \text{ Nm}$$

Calculando los esfuerzos combinados:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}$$

$$\sigma'_a = 102.5 \text{ MPa.}$$

$$\sigma'_m = 102.5 \text{ MPa.}$$

Dónde:

σ'_a = Amplitud del esfuerzo (Pa).

σ'_m = Esfuerzo medio (Pa).

Límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S_e'$$

E.C.4.61

Dónde:

S_e = Límite de resistencia a la fatiga de un elemento de máquina.

S_e' = Límite de resistencia a la fatiga de un eje rotativo.

k_a = Factor de superficie.

k_b = Factor de tamaño o forma.

k_c = Factor de carga.

k_d = Factor de temperatura.

k_e = Factor de modificación por concentración de esfuerzos.

Límite de resistencia a la fatiga de un eje rotativo (S_e').

$$S_e' = \begin{cases} 0,504 * S_{ut} & S_{ut} \leq 1400(\text{Mpa}) (200\text{kpsi}) \\ 700(\text{MPa}) (100\text{kpsi}) & S_{ut} > 1400(\text{Mpa}) (200\text{kpsi}) \end{cases}$$

En este caso se escoge:

$$S_e' = 0.504 * S_{ut}$$

Remplazando valores en la ecuación:

$$S_e' = 186.5 \text{ MPa}$$

□ **Ka:** Factor de superficie:

$$K_a = a^*$$

$$K_a = 0.94$$

Kb: Factor de forma o tamaño: Para secciones circulares se tiene

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0.869 * d^{-0.097} & 0.3 \text{ pulgadas} < d \leq 10 \text{ pulgadas.} \\ kb = 1 & d \leq 0.3 \text{ pulgadas bien } \leq 8 \text{ mm.} \\ 1.189 * d^{-0.097} & 08 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm.} \end{array} \right.$$

Remplazando valores en la ecuación con $d = 25.4 \text{ mm}$ se obtiene:

$$K_b = 0.869 * 1^{-0.097}$$

$$K_b = 0.869$$

□ **Kc:** Factor de carga:

$$\left\{ \begin{array}{lll} kc = & 0.923 & \text{carga axial } S_{ut} \leq 1520(\text{MPa})(220 \text{ kpsi}) \\ & 1 & \text{carga axial } S_{ut} > 1520(\text{MPa})(220 \text{ kpsi}) \\ & 1 & \text{Flexión} \\ & 0.577 & \text{Torsión o esfuerzo cortante.} \end{array} \right.$$

El eje está sometido a esfuerzo torsor y flector:

$$K_c = 0.577$$

• **Kd:** Factor de temperatura:

$$\left\{ \begin{array}{lll} kd = & 1 & T \leq 450^\circ\text{C} \quad (840^\circ\text{F}) \\ & 1 - 5.8(10)^{-3}(T - 450) & 450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C} \\ & 1 - 3.2(10)^{-3}(T - 840) & 840^\circ\text{F} < T \leq 1020^\circ\text{F} \end{array} \right.$$

Se escoge: $K_d = 1$

$$K_e = \frac{1}{kf}$$

Ke: Factor de modificación por concentración del esfuerzo:

Factor de efectos diversos:

$$K_f = 1 + q * (k_t - 1) \quad \text{E.C.4.62}$$

Dónde:

K_f = Factor de concentración de esfuerzos en fatiga.

k_t = Factor de concentración de esfuerzos teórico.

q = Sensibilidad a las ranuras o muescas.

Coeficientes de una geometría del eje: $r_{\text{ranura}} = 0.5 \text{ mm}$

$$\frac{D}{d} = \frac{40 \text{ mm}}{39 \text{ mm}} = 1.03$$

$$\frac{r_{\text{ranura}}}{d} = 0.013$$

Dónde:

Diámetro mayor del eje. Diámetro menor del eje.

$$q = 0.57$$

$$K_t = 1.41$$

Remplazando valores en:

$$K_f = 1.23$$

Remplazando valores en:

$$K_e = .813$$

Remplazando valores en:

$$S_e = 71.5 \text{ MPa}$$

Ecuación para determinar la resistencia del eje a una vida infinita (N > revoluciones).

$$\left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2 = \frac{1}{n^2} \quad \text{E.C.4.63}$$

$$n = 2.6$$

El eje de 25.4 mm. de diámetro en acero ASTM A36 satisface todos los requerimientos que exige el proyecto. El eje tiene un cambio de sección de 1.0 mm. en el diámetro, para el ajuste en los rodamientos.

4.2.13 Selección de rodamientos.

A continuación, se presenta la selección de los rodamientos sobre los cuales se asienta el eje del rotor.

Carga radial. - Los rodamientos que soportan principalmente cargas radiales, se llaman: rodamientos radiales y soportan mayores cargas radiales que los rodamientos de bolas de igual tamaño³⁵. Tienen un ángulo de contacto nominal.

Carga axial. - Los rodamientos que soportan cargas axiales se llaman rodamientos axiales, tienen un ángulo de contacto nominal $\alpha > 45^\circ$.

Determinación del tipo de rodamientos.

Los rodamientos de bolas soportar cargas medias radiales y cargas axiales, los rodamientos de rodillos soportar cargas muy pesadas y son autoalineables, tienen alta capacidad para soportar cargas radiales, cargas axiales y cargas combinadas.

Rodamiento de rodillo cónico.

El rodamiento de rodillos cónicos, es adecuado para resistir cargas radiales y axiales simultáneas.

Tabla 4.19. Características del rodamiento de rodillos cónico elegido para el eje del rotor, de diámetro de 40 mm del eje



Denominación abreviada		Capacidad de carga		Factores de carga		
Rodamiento	DIN ISO	Dinámica	Estática	Y	Yo	e
FAG	355	C	Co			
32008 XA	T3CD040	54 KN	71 KN	1.58	0.87	0.38

Fuente: Catalogo de rodamientos FAG.

Las fuerzas radiales ejercidas en el eje son:

$$R1 = 219.7 \text{ N.}$$

$$R2 = 648.5 \text{ N.}$$

$$Fr = 868.2 \text{ N.}$$

Una fuerza axial

$$Fa = F3 = 84.31 \text{ N}$$

Pasos para su adecuada selección del rodamiento de rodillo cónico:

Se determina la vida nominal del rodamiento en horas de servicio según el tipo de máquina al que se aplique, el cual se tiene.

$$L_{10h} = 6000 \text{ h.}$$

La carga dinámica equivalente:

$$P = F_r$$

$$si \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$P = 0,4 * F_r + Y * F_a$$

$$si \frac{F_a}{F_r} > e$$

Dónde:

P = Carga dinámica equivalente del rodamiento (N). F_r = Fuerza radial (N).

F_a = Fuerza axial (N).

Y , Y_0 , e = Coeficientes (están en función del rodamiento).

Remplazando valores en:

$$\frac{F_a}{F_r} = 0.097 < e$$

Por lo tanto:

$$P = 0.868 \text{ KN} \ll C$$

Carga estática equivalente.

$$P = 0.5 * F_r + Y_0 * F_a$$

$$si \frac{F_a}{F_r} \geq \frac{1}{2 * Y_0}$$

$$P_0 = F_r$$

$$si \frac{F_a}{F_r} \leq \frac{1}{2 * Y_0}$$

Remplazando:

$$Y_0 = 0.87$$

$$\frac{F_a}{F_r} = (0.097) < \frac{1}{2 * Y_0} = 0.57$$

Por lo tanto:

$$P_0 = 0.868 \text{ KN} \ll C_0$$

Las cargas equivalentes P_0 y P se comparan con las cargas admisibles C y C_0 que vienen dadas en el catálogo, el rodamiento elegido cumple con los requerimientos exigidos, para soportar las cargas dinámicas ejercidas sobre el eje.

4.2.14 CHAVETA

La chaveta permite la transmisión de movimiento rotativo y está expuesta a un esfuerzo cortante y también esfuerzos de compresión.

Medidas de la chaveta para el diseño del eje: $L = 0,04 \text{ m}$

$$W = 0,009 \text{ m}$$

$$H = 0,01 \text{ m}$$

1

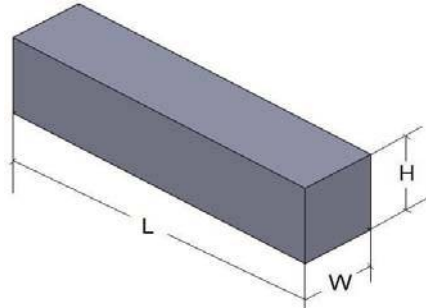


Fig. 4.24. Geometría de la chaveta.

Fuente: elaboración propia.

El torque $M = 13 \text{ Nm}$. Del eje de diámetro de $d = 0.039$ la fuerza es de

$$C = F * \frac{d}{2} = 13 \text{ (Nm)}$$

$$F = \frac{c * 2}{d}$$

$$F = 666.67 \text{ N.}$$

Dónde:

$C =$ Par o torque requerido para el bombeo (Nm).

$F =$ Fuerza aplicada (N).

$d =$ Diámetro del eje (m).

Esfuerzo cortante en la chaveta, es necesario para un dimensionamiento válido (acero ASTM A36)

$$\frac{F}{L * W} < \frac{s_y}{2 * n}$$

$$\frac{F}{L * W} = \frac{666,67 \text{ N}}{0.04 \text{ m} * 0.009 \text{ m}} = 1.9 \text{ MPa}$$

$$\frac{S_y}{2 * n} = \frac{250}{10} = 25 \text{ MPa}$$

$$\frac{S_y}{2 * n} = \frac{250}{10} = 25 \text{ MPa}$$

$$\frac{F}{L * W} < \frac{S_y}{2 * n}$$

$$1.9 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa}$$

Dónde:

L = Longitud de la chaveta (m). W = Espesor de la chaveta (m).

F = Fuerza calculada.

n = Factor de seguridad 5.

Dimensionamiento adecuado para Compresión en la chaveta:

$$\frac{F}{L * \frac{H}{2}} < \frac{S_y}{n}$$

Dónde:

STM A36

$S_y = 250 \text{ MPa}$

$S_{ut} = 400 \text{ MPa}$

$n = 5$

H = Altura de la chaveta (m)

$$\frac{F}{L * \frac{H}{2}} = \frac{666.67 \text{ N}}{5 * 10^{-3} * 0.04 \text{ m}} = 3.33 \text{ MPa.}$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{250}{5} = 50 \text{ MPa.}$$

$$\frac{F}{L * \frac{H}{2}} < \frac{S_y}{n}$$

$$3.33 \text{ MPa.} < 50 \text{ MPa.}$$

4.2.15 Tornamesa

Elemento que permite al rotor colocarse siempre frente al viento, debe resistir una fuerza de compresión y un momento flector del rotor y de la veleta.

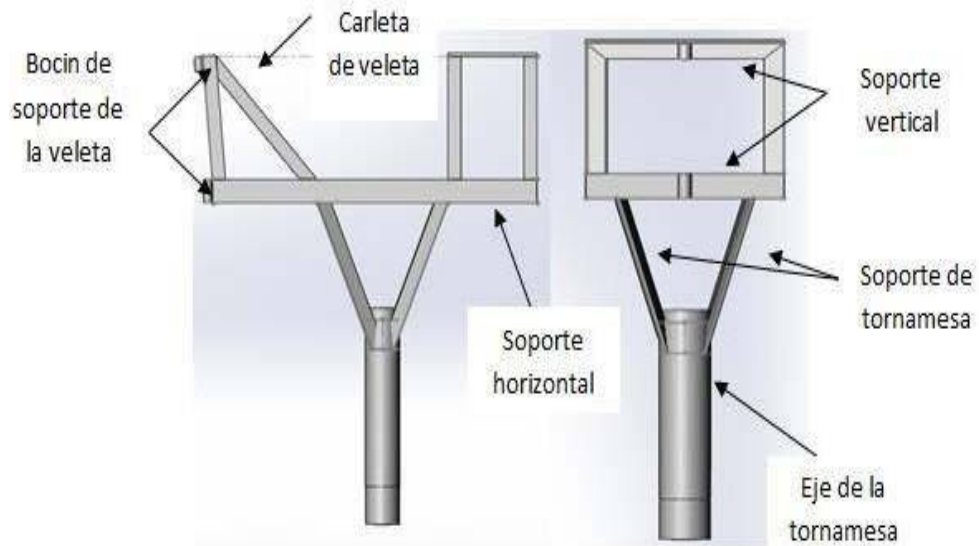


Fig. 4.25. Esquema de la tornamesa.

Fuente: elaboración propia

Diseño del soporte horizontal.

Elemento más crítico de la estructura que debe soportar las siguientes cargas:

Bombero

$$F_b = 348.4 \text{ N.}$$

Fuerzas aplicadas al eje:

$$F_1 = 476.3 \text{ N.}$$

$$F_2 = 476.3 \text{ N.}$$

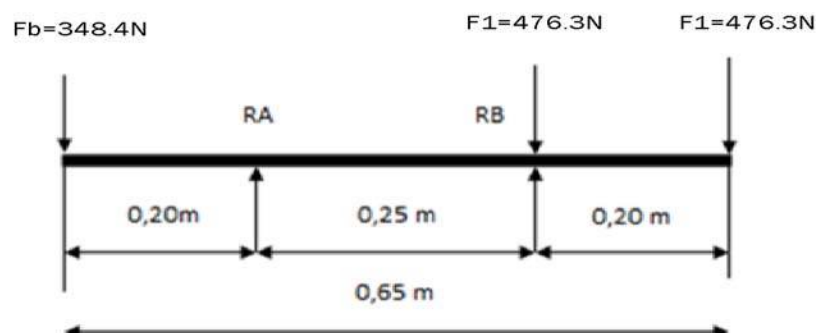


Fig. 4.26. Diagrama de cuerpo libre de la viga de la tornamesa.

Fuente: elaboración propia

Diagrama de cortantes y momentos en la viga.

$$\downarrow +; \sum F_{ext} = 0$$

$$F_1 + F_2 + F_b - R_A - R_B = 0$$

$$\curvearrowright + \sum M(A) = 0$$

$$-F_b * 0.20m + F_2 * 0.25m - R_B * 0.25m + F_1 * 0.45m = 0$$

$$R_B = \frac{(-348.4N * 0.20m) + (476.3N * 0.25m) + (476.3N * 0.45m)}{0.25m}$$

$$R_B = 1056.5N$$

$$R_A = 244.2N$$

Momento:

$$M = F * d$$

$$M(A) = 348.4 N * 0.20 m.$$

$$M(A) = 69.7 Nm.$$

$$M(B) = 476.3 N * 0.20 m.$$

$$M(A) = 95.3 Nm$$

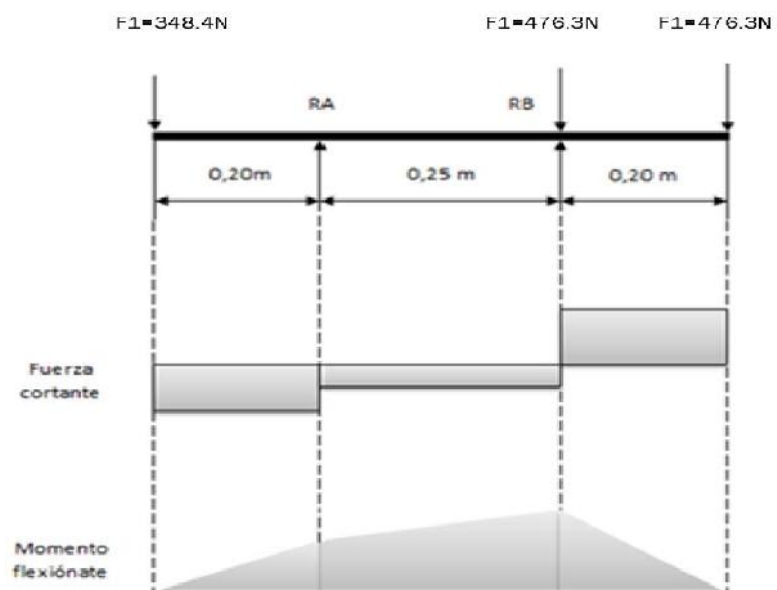


Fig. 4.27. Diagrama de cortantes y momentos en la viga.

Fuente: elaboración propia

Cargas de la viga.

Estimación de Cargas vivas W_{cv}

Acción presión del viento: (0.00445) (f) Velocidad 6.28 m/s.

$$\text{Acción}_{\text{viento}} = (0.00445)(21.96 \text{ km/h})^2 \quad f = 1.3$$

$$\text{Acción}_{\text{viento}} = 2.79 \text{ kg /m}_2$$

Carga o fuerza del viento.

$$\text{Acción}_{\text{viento}} = (2.79 \text{ kg/m}^2) (0.25 \text{ m})$$

$$(0.65 \text{ m}) \text{ Acción}_{\text{viento}} = 0.45 \text{ kg}.$$

$$\text{Total } W_{cv} = 4.4 \text{ N}.$$

Estimación de Cargas muertas W_{cm} .

Carga o fuerza del rotor.

$$F = 1300.7 \text{ N}$$

Masa de las vigas

$$m_{\text{viga}} = (A) * (L) * (\rho)$$

$$m_{\text{viga}} = (0.000421 \text{ m}^2 * 2) * (0.65 \text{ m}) * (7800 \text{ kg/m}^3)$$

$$m_{\text{viga}} = 427 \text{ kg}.$$

$$m_{\text{viga}} = 41.9 \text{ N}.$$

$$\text{Total } W_{CM} = 1342.6 \text{ N}.$$

Total de cargas vivas.

$$W = 1347 \text{ N}.$$

Carga distribuida

$$W = \frac{w}{L}$$

$$W = \frac{1347 \text{ N}}{0.65 \text{ m}}$$

$$W = 2072.7 \text{ N/m}$$

Momento máximo de la viga, tomando en consideración la carga total:

$$M_{max} = \frac{W * t^2}{8}$$
$$M_{max} = \frac{\left(2072.7 \frac{N}{m}\right) (0.65m)^2}{8}$$
$$M_{max} = 109.5 Nm$$

Módulo de la sección requerida:

$$f_b \leq F_b$$

Esfuerzo permisible básico

$$f_b = 0.6F_y$$

$$F_b = (0.6) * (250 MPa)$$

$$F_b = 150 * 10^6 Pa$$

Módulo resistente de la sección.

$$S_x = \frac{M_{max}}{F_b}$$

$$S_x = \frac{109.5 Nm}{150 * 10^6 Pa}$$

$$S_x = 7.3 * 10^{-7} m^3$$

Esfuerzo permisible o flexión:

$$f_b = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S_x}$$

$$f_b = \frac{109.5Nm}{7.3 * 10^{-7}m^3}$$

$$f_b = 150 * 10^6Pa$$

$$f_b = F_b$$

El esfuerzo permisible básico es igual al esfuerzo permisible a flexi3n, de esta manera se cumple la condici3n.

Basándose en el cálculo realizado, indica que el perfil estructural de acero ASTM A36 "L" 40 40 6. Es el adecuado para disenar la viga.

Propiedades del perfil " L"

$$A = 0.000421$$

$$R_x = R_y = 0.012 \text{ m.}$$

$$R_z = 0.0069 \text{ m.}$$

$$I = 6.07$$

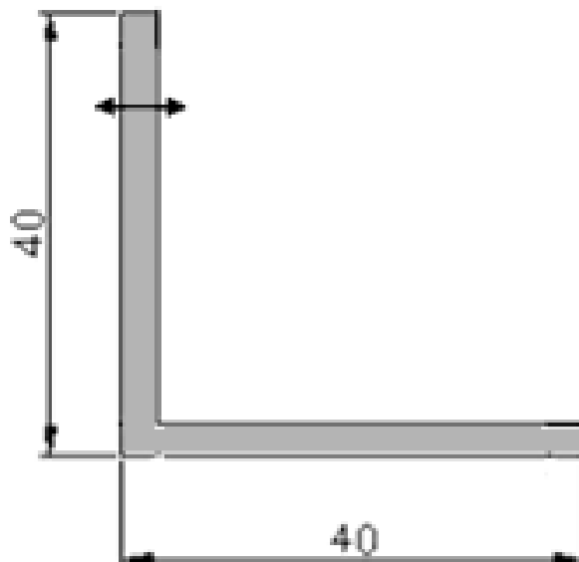


Fig. 4.28. Esquema del Perfil " L" .

Fuente: elaboraci3n propia

Flecha máxima.

$$f = \frac{(5)(W)(L)^4}{(384)(E)(I)}$$

$$f = \frac{(5)(1347N/m)(0.65)^4}{(384)(207 * 10^9N/m^2)(6.07 * 10^{-8}m^4)}$$

$$f = 2.5 * 10^{-4}m$$

$$\frac{L}{360} = \frac{0.65m}{360} = 1.8 * 10^{-3}m$$

$$f \leq \frac{L}{360}$$

$$2.5 * 10^{-4}m \leq 1.81 * 10^{-3}m$$

La condición se cumple la flecha máxima no sobrepasa a la flecha máxima calculada.

4.2.15.1 SOPORTE VERTICAL O COLUMNA ARMADA TORNAMESA.

La tornamesa está constituida por dos secciones soldadas de las mismas dimensiones por esta razón el cálculo realizado será para ambas.

$$F = 1300.7 \text{ N}$$

$$L = 0.25 \text{ m}$$

$$H = 0.25 \text{ m}$$

$$k = 0.65$$

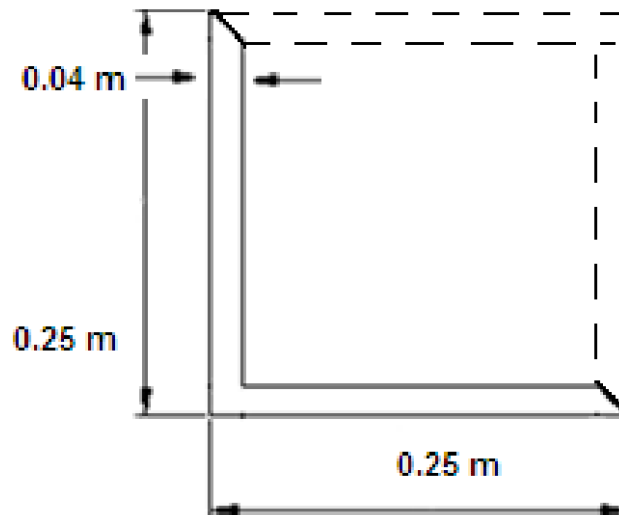


Fig. 4.29. Esquema de los soportes verticales soldados de la tornamesa.

Fuente: elaboración propia

$$A_{total} = A_{sección} * 2$$

$$A_{total} = (0.000421m^2) * (2)$$

$$A_{total} = 8.42 * 10^{-4}m^2$$

Inercia total de la sección compuesta soldada.

$$I_{total} = I_{sección} * 2$$

$$I = (6.07 * 10^{-8}m^4) * (2)$$

$$I_{total} = 1.214 * 10^{-7}m^4$$

Radio de giro de la sección compuesta.

$$r_{giro} = \sqrt{\frac{I_{total}}{A_{total}}}$$

$$r_{giro} = \sqrt{\frac{1.214 * 10^{-7}m^4}{8.42 * 10^{-4}m^2}}$$

$$r_{giro} = 0.012m$$

Masa total de la sección compuesta soldada.

$$m_{total} = m_{sección} * L$$

$$m_{total} = \left(3.30 \frac{kg}{m} * 2 \right) * 0.25m$$

$$m_{total} = 1.65 \text{ kg}$$

Relación de esbeltez.

$$\frac{KL}{r} = \frac{(K)(L)}{r}$$

Donde:

K = Constante que depende de la fijación de los extremos

L = Longitud de la columna (m)

r = Radio

Remplazando valores en:

$$\frac{KL}{r} = \frac{(0.65)(0.25m)}{0.012}$$

$$\frac{KL}{r} = 13.54$$

Esfuerzo permisible

$$F_a = \text{con } \frac{KL}{r} = 13.54 = 14 \text{ (Anexo 18)}$$

Remplazando valores en la ecuación:

$$F_a < S_y$$

$$20.95 \text{ Kpsi} < 36 \text{ Kpsi}$$

$$F_a \cong 14.7 * 10^6 \text{ kg/m}^2$$

Carga permisible ò tolerable.

$$P_a = F_a * A$$

$$P_a = 14.7 * 10^6 \frac{kg}{m^2} * 8.42 * 10^{-4} m^2$$

$$P_a = 12377.4 kg$$

$$P_a = 121422 N$$

$$P_a > P$$

$$P_a = 121422 N > P (F = 1300.7 N)$$

Donde:

P_a = Carga tolerable o permisible (N)

A = Área (m^2)

P = Carga aplicada (N)

La carga permisible calculada es mucho mayor a la carga aplicada en el elemento es decir satisface las exigencias de la estructura.

$$P_{er} = n * P_a$$

$$P_{er} = (2.0)(121422 N)$$

$P_{cri} = 242844 N$; Carga a la cual la columna empieza a pandearse

Donde:

P_{cri} = Carga crítica que origina pandeo (N).

n = Factor de seguridad

$n^{42} = 2.0$ para columnas con cargas conocidas.

4.2.15.2 Soporte vertical o columna armada

Se construirá con perfil, por lo tanto, las propiedades ya están citadas.

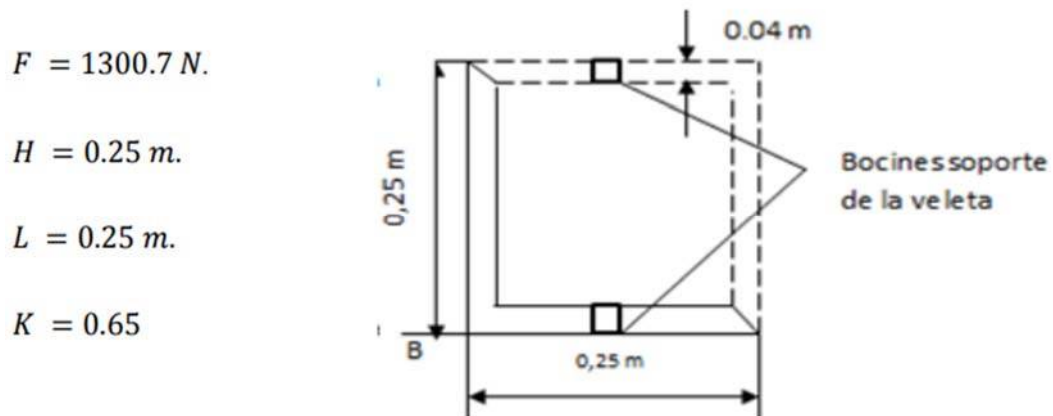


Fig. 4.30. Esquema de los soportes verticales soldados.

Fuente: elaboración propia

$$M_{total} = P_{SECCIÓN} * L$$

El momento máximo M_{Max} que se presenta es:

$$M_{max} = I * F_b$$

$$M_{max} = 0.25 \text{ m.} * 348.4 \text{ N.}$$

$$M_{max} = 87.1 \text{ Nm.}$$

El límite máximo de esfuerzo al que está sometido el perfil es:

$$\sigma_{max} = \frac{L * M_{max}}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.25 \text{ m} * 87.1 \text{ Nm}}{1.214 * 10^{-7} \text{ m}^4} = 179.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = 179.4 * 10^6 \text{ N/m}^2$$

Remplazando valores en la formula se obtiene la relación de esbeltez:

$$\frac{K * L}{r} = \frac{(0,65)(0,25m)}{0,012}$$

$$\frac{K * L}{r} = 13.5 m.$$

Remplazando valores en la formula se obtiene el esfuerzo permisible:

$$F_a < S_y$$

$$F_a = 20.95 \text{ Ksi} < 36 \text{ Ksi}$$

$$F_a = 20.95 \text{ Ksi} \cong 14.7 * 10^6 \text{ kg/m}^2$$

Remplazando valores en (6.103) se obtiene la carga permisible ò tolerable:

$$P_a = F_a * A$$

$$P_a = 14.7 * \frac{10^6 \text{ kg}}{\text{m}^2} * 8.4210^{-4} \text{ m}^2$$

$$P_a = 121422 \text{ N.}$$

$$P_a > P(1300.7 \text{ N})$$

La carga permisible calculada es mucho mayor a la carga aplicada en el elemento es decir, satisface las exigencias de la estructura.

Remplazando valores en (6.104) se obtiene la carga crítica que origina el pandeo:

$$P_{er} = N * P_a$$

$P_{er} = 242844 \text{ N}$; Carga a la cual la columna empieza a pandearse

4.2.15.3 CARTELA O PLATINA PARA VELETA.

La tornamesa está constituida por platinas inclinadas soldadas que soportan la carga de la veleta de 348.4 N

$$F = 348.4 \text{ N.}$$

$$H = 0.25 \text{ m.}$$

$$L = 0.314 \text{ m.}$$

$$K = 0.65$$

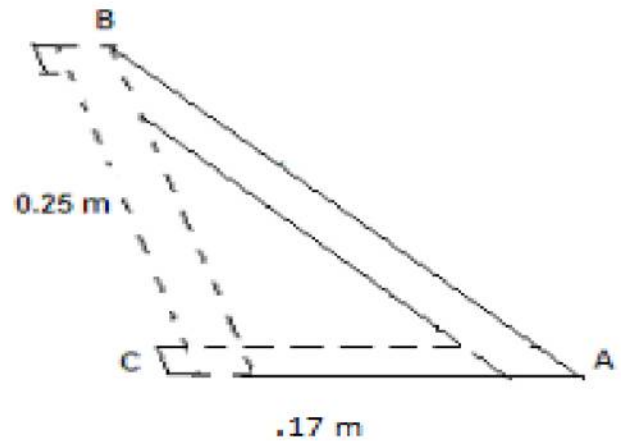


Fig. 4.31. Esquema de la platina.

Fuente: elaboración propia

Longitud de la platina.

$$C = \sqrt{(a^2) + (b^2)}$$

$$C = \sqrt{(0.25 \text{ m}^2) + (0.19)^2}$$

$$C = 0.314 \text{ m}$$

Remplazando valores se obtiene la relación de esbeltez:

$$\frac{K * L}{r_z} = \frac{(0.65\text{m}) * (0.314\text{m})}{0.0069}$$

$$\frac{K * L}{r_z} = 29.6$$

Remplazando valores se obtiene el esfuerzo permisible:

$$F_a = 19.94 \text{ ksi} < 36 \text{ ksi}$$

$$F_a = 19.94 \text{ ksi} \cong 20.8 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^2$$

Remplazando valores se obtiene la carga permisible ò tolerable:

$$P_a = F_a * A$$

$$P_a = 208 * 10^6 \text{ kg/m}^2 * 8.42 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$P_a = 171812 \text{ N}$$

$$P_a > AP$$

$$P_a > 171812 \text{ N} > P(348.4 \text{ N})$$

La carga permisible calculada es mucho mayor a la carga aplicada en el elemento, por la cual satisface las exigencias de la estructura.

4.2.15.4 EJE DE TORNAMESA.

El eje de la tornamesa, permite el ensamble de la Aerobomba (rotor, tornamesa y veleta) debe resistir una fuerza de compresión y un momento flector

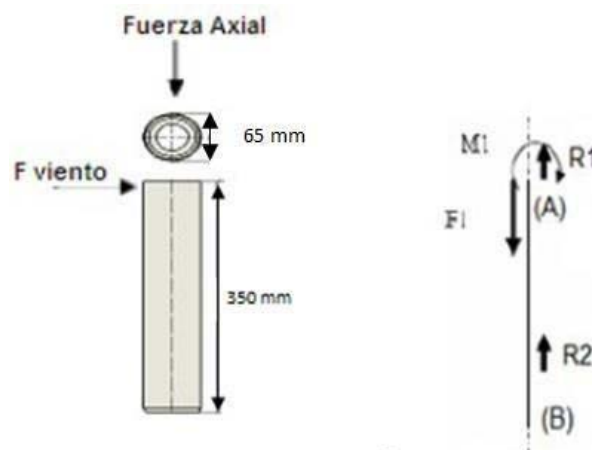


Fig. 4.32. Esquema de fuerzas ejercidas sobre el eje de la tornamesa.

Fuente: elaboración propia

La fuerza de compresión:

$$\mathbf{F = 1370N}$$

Masa del eje hueco de la torna mesa

$$m_{eje} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) (L) (\rho_{acero})$$

$$m_{eje} = \frac{\pi}{4} (0.065^2 - 0.035^2) (0.35 \text{ m}) (7800 \text{ kg/m}^3)$$

$$m_{eje} = 6.2 \text{ Kg}$$

Inercia del eje de la tornamesa:

$$I_{eje} = \frac{\pi * (D^4 - d^4)}{64}$$

$$I_{eje} = \frac{\pi * (0.065^4 - 0.035^4)}{64}$$

$$I_{eje} = 4.0 * 10^{-8} m^4$$

Radio del eje de la tornamesa:

$$r_{eje} = \sqrt{\frac{(D^2 + d^2)}{4}}$$

$$r_{eje} = \sqrt{\frac{(0.063^2 m + 0.035^2 m)}{4}}$$

$$r_{eje} = 0.05 m$$

Momento flector:

$$M_x = F * D$$

$$M_x = 520 N * 0.350 m$$

$$M_x = 182 Nm.$$

$$M_y = F * D$$

$$M_y = 348.4 N * 2 m$$

$$M_y = 696.8 Nm$$

$$M_f = \sqrt{(M_x^2 + M_y^2)}$$

$$M_f = \sqrt{(182 Nm)^2 + (696.8 Nm)^2}$$

$$M_f = 720.2 Nm.$$

Momento Torsor:

$$M_t = \frac{F * \text{diámetro del eje}}{2}$$

$$M_t = \frac{84.3N * 0.065 m}{2}$$

$$M_t = 2.74 Nm.$$

Esfuerzo torsionante del eje de tornamesa:

$$\sigma_t = \frac{M_f * r}{I}$$

$$\sigma_t = \frac{720.2 Nm * 0.05m}{4.0 * 10^{-7} m^4}$$

$$\sigma_t = 90 MPa$$

Diseño por resistencia a la fatiga del eje de tornamesa.

Se diseñará el eje hueco de acero ASTM A36:

$H = 0.350 m$	$D = 0.065 m$	$d = 0.035 m$	$F = 1300.7 N$
---------------	---------------	---------------	----------------

Remplazando valores en el esfuerzo de flexión:

$$\sigma_x = \frac{32 * M_{fmax}}{\pi * d^3} + \frac{4 * F_a}{\pi * d^2} \qquad M_{fmax} = 62.4 Nm.$$

$$\sigma_{max} = \frac{32 * 62.4 Nm}{\pi * (0.065 m - 0.035 m)^3} + \frac{4 * 1300.7 N}{\pi * (0.035 m)^2}$$

$$\sigma_x = 42.5 MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{32 * M_{fmin}}{\pi * d^3} = 0 MPa. \qquad M_{fmin} = 0 Nm$$

Remplazando valores el esfuerzo de torsión:

$$\tau_{xy} = \frac{16 * T}{\pi * d^3}. \qquad \tau_{max} = 13 Nm.$$

$$\tau_{max} = \frac{16 \cdot 13 \text{ Nm}}{\pi \cdot (0.065 \text{ m} - 0.035)^3}$$

$$\tau_{max} = 2.5 \text{ MPa.}$$

$$\tau_{min} = \frac{16 \cdot T_{min}}{\pi \cdot d^3} = 0 \text{ MPa.}$$

$$\tau_{min} = 0 \text{ Nm}$$

Remplazando valores aplicando la teoría de energía de la distorsión:

$$\sigma_a = \sigma_{max}$$

$$\sigma_a = 42.5 \text{ MPa}$$

Remplazando valores del esfuerzo medio aplicando la teoría de energía de la distorsión:

$$\sigma_m = 3\tau_{ax}$$

$$\sigma_m = 3(2.5 \text{ MPa})$$

$$\sigma_m = 7.5 \text{ MPa.}$$

Para remplazar los valores en el límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S_e'$$

Remplazando valores en:

$$S_e' = 0.504 \cdot S_{ut}$$

$$S_e' = 0.504 \cdot (400 \text{ MPa})$$

$$S_e' = 201.6 \text{ MPa}$$

Ka: Factor de superficie.

$$K_a = 0.64$$

Kb: Factor de forma o tamaño.

Remplazando valores con $d = 13 \text{ mm}$.

$$K_b = 1.189 \cdot 10^{-0.097}$$

$$K_b = 0.79$$

Kc: Factor de carga.

Remplazando en:

$$K_c = 0.577$$

Kd: Factor de temperatura.

Reemplazando valores en: $K_d = 1$

Ke: Factor de modificación por concentración del esfuerzo:

Reemplazando valores en:

$$k_c = \frac{1}{k_f} = 0.36$$

Reemplazando valores de factor de efectos diversos:

$$K_f = 1 + q * (k_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0.78 * (2.55 - 1)$$

$$K_f = 2.76$$

Coeficientes de una geometría del eje.

$$r = \sqrt{\frac{D^2 + d^2}{16}} = 0.025 \text{ m}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{0.035 \text{ m}}{0.063 \text{ m}} = 0.54 \text{ m}$$

$$q = 0.78$$

$$K_t = 2.55$$

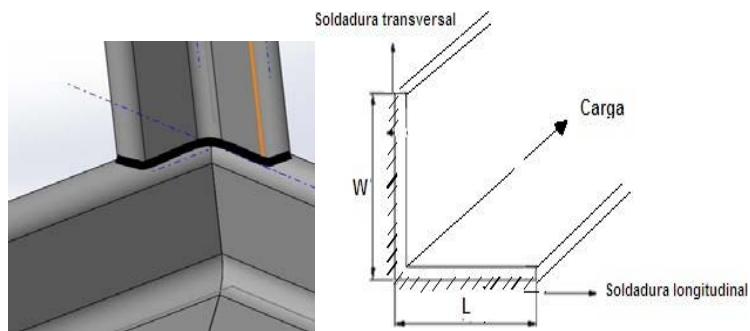
Reemplazando valores en:

$$S_e = 21 \text{ MPa.}$$

Reemplazando valores se obtiene un factor de seguridad de:

$$N = 2.0$$

4.2.15.5 SOLDADURA – CONEXIÓN



Fuente: elaboración propia

$$F = 1300.7 \text{ N.} \quad (\text{carga a soportar})$$

$$L \geq W$$

$$40 \text{ mm} \geq 40 \text{ mm}$$

Carga permisible:

$$T = (0.6 * F_y) * A_g$$

Dónde:

$$A_g = \text{área del perfil (m}^2\text{)}$$

$$T = \left(0.6 * 25 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right) * 0.000421 \text{ m}^2$$

$$T = 6315 \text{ kg}$$

$$F_t = E 6011 \quad F_t = 60000 \text{ Psi} = 42272811 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$F_v = 0.3 * F_t$$

$$F_v = 0.3 * 42272811 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$F_v = 0.3 * 10^6$$

$$F_v = \text{Esfuerzo de corte.}$$

$$F_t = \text{Resistencia a la tensión del cordón de soldadura (electrodo)} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$$

$$t = \text{Filete de soldadura (m).}$$

$$\text{Área de soldadura } 0.04 \text{ m}$$

$$A = 0.707 t. \quad t = \left(\frac{1}{8}\right) = 0.00318 \text{ m} \quad (\text{anexo 20})$$

$$A * F_v = 0.707 * 0.00318 \text{ m} * 0.04 \text{ m} * 12.6 * 10^6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$$

$$A * F_v = 1140.5 \text{ kg}$$

$$A * F_v = 11188.3 \text{ N}$$

Longitud de soldadura necesaria para soportar todo el peso.

$$l = \frac{m}{A * F_v}$$

Remplazando valores en la ecuación se obtiene

$$l = \frac{1300.7}{11.188N}$$

$$l = 0.13m; \quad l = 130 \text{ mm}$$

NOTA: Se ha calculado la soldadura de 130 mm, esta satisface la resistencia de la carga de 1300.7 N. aplicada sobre el perfil, pero por seguridad y estética se debe realizar un cordón corrido en todo el contorno del perfil.

4.2.15.6 CONJUNTO VELETA – PLACA GUÍA

Dispositivo de orientación, propiedades del perfil “L” 2 5*2 5*3⁴³.

$$A = 1.35 * 10^{-4} \text{ m}^2.$$

$$r_x = r_y = 0.76 * 10^{-4} \text{ m}.$$

$$I = 7.9 * 10^{-9} \text{ m}^4.$$

$$P_{seccion} = 1.06 \text{ k/gm}.$$

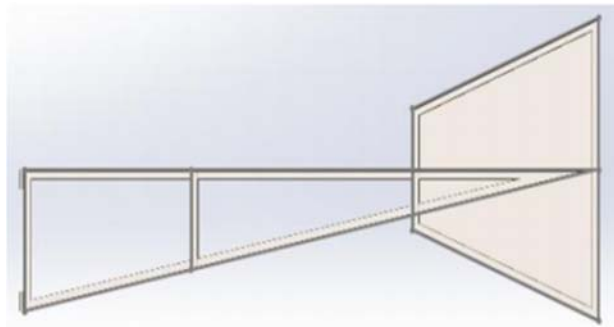


Fig. 4.34. Esquema de la veleta.

Fuente: elaboración propia

Placa guía de veleta.

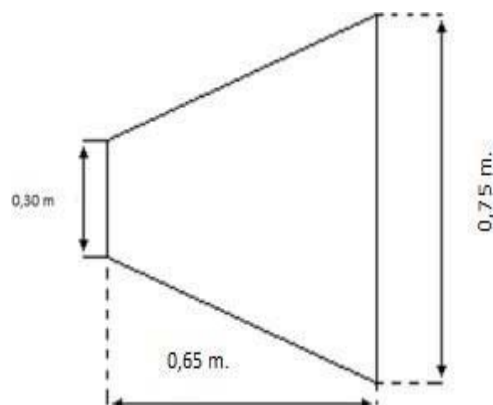


Fig. 4.35. Esquema de la placa de la veleta.

Fuente: elaboración propia

Área de placa guía de veleta:

$$A_{placa} = \frac{(B + b)h}{2}$$

$$A_{placa} = \frac{(0.75m + 0.30m)0.65m}{2}$$

$$A_{placa} = 0.34m^2$$

Volumen de placa guía de veleta:

$$V_{placa} = A_{placa} * e_{placa}$$

$$V_{placa} = 0.34 m^2 * 0.002 m$$

$$V_{placa} = 6.8 * 10^{-4} m^3$$

Peso de placa base.

$$P_{placa} = V_{placa} * \rho_{acero}$$

$$P_{placa} = 6.8 * 10^{-4} m^3 * 7800 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{placa} = 52.03 N$$

Veleta

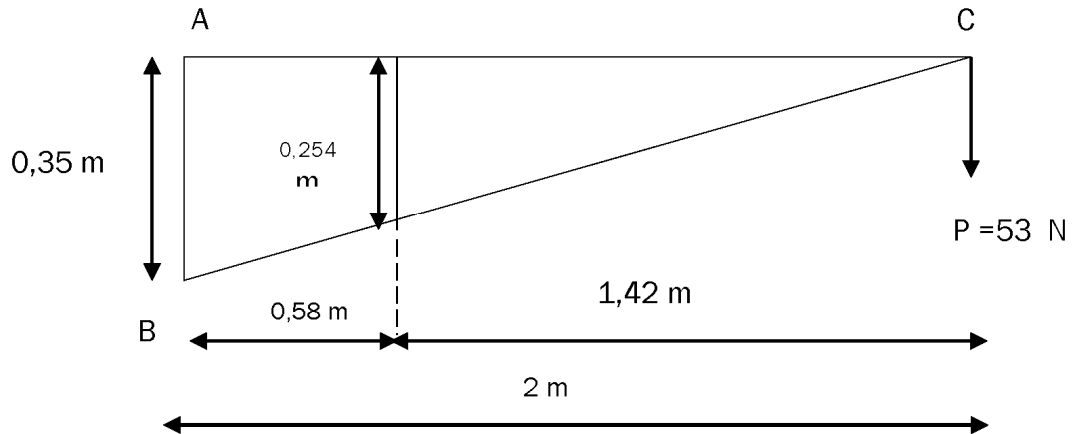


Fig. 4.36. Diagrama de cuerpo libre de la veleta.

Fuente: elaboración propia

Reemplazando valores en:

$$M_f = F_{placa} * d$$

$$M_f = 53 \text{ N} * 2\text{m}$$

$$M_f = 106 \text{ Nm}$$

Reemplazando valores en:

$$m_{total} = m_{SECCION} * L$$

$$m_{total} = \left(1.06 \frac{\text{kg}}{\text{m}}\right) * 4.7\text{m}$$

$$m_{total} = 50 \text{ kg.}$$

$$m_{total} = 47.8 \text{ N.}$$

Área de veleta:

$$A_{veleta} = \frac{(B)h}{2}$$

$$A_{veleta} = \frac{(0.35\text{m}) * 2\text{m}}{2}$$

$$A_{veleta} = 0.35 \text{ m}^2$$

Cargas que intervienen en la veleta:

- **Cargas Vivas W_{cv}**

$$\text{Acción del viento} = 2.79 \text{ kg/m}^2 * 0.35$$

$$W_{cv} = \text{acción de viento} * \text{área de veleta.}$$

$$W_{cv} = 9.6 \text{ N.}$$

- **Cargas Muertas W_{cv}**

$$\text{Peso veleta} + \text{peso placa guía de veleta} + \text{accesorios} = 100 \text{ N.}$$

Total cargas:

$$W_c = W_{cv} + W_{cm}$$

$$W_c = 109.6 \text{ N}$$

Remplazando valores en la ecuación se obtiene:

$$W = \frac{W_c}{L}$$

$$W = \frac{109.6 \text{ N}}{2 \text{ m}}$$

$$W = 54.8 \text{ N}$$

Esfuerzo permisible a tensión:

$$F_a = \frac{P_{\text{carga distribuida de veleta y placa}}}{A}$$

$$F_a = \frac{348.4 \text{ N}}{0.5 \text{ m}^2}$$

$$F_a = 995.4 \text{ Pa}$$

Remplazando valores se obtiene el Momento máximo en la veleta:

$$M_{\text{máx}} = \frac{wL^2}{8}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{54.8 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (2 \text{ m})^2}{8}$$

$$M_{\text{máx}} = 27.4 \text{ Nm.}$$

Remplazando valores en módulo de la sección requerida:

$$f_b \leq F_b$$

Remplazando valores en el Esfuerzo permisible básico:

$$f_b = 0.6 F_y$$

$$F_b = 150 * 10^6 \text{ N/m}^2$$

Remplazando valores en Módulo resistente de la sección.

$$S_x = \frac{M_{\text{máx}}}{F_b}$$

$$S_x = \frac{27.4 \text{ Nm}}{150 * 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$S_x = 1.83 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

Remplazando valores en los esfuerzo permisible o flexión

$$f_b = \frac{M_{\text{máx}}}{S_x}$$

$$f_b = \frac{27.4 \text{ Nm}}{1.83 * 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$f_b = 150 * 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$f_b = f_b$$

Los esfuerzos son iguales de esta manera se cumple la condición. Basándose en el cálculo realizado

$$S_x = 1.83 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

. Indica que el perfil estructural de acero ASTM A3644 " L" 25 * 25 * 3, es adecuado para diseñar la veleta.

Fuerzas externas en la veleta: Punto B

$$\curvearrowright +; \sum M_A = 0$$

$$(B * 0.35) - (53 \text{ N} * 2 \text{ m}) = 0$$

$$B = \frac{53 \text{ N} * 2 \text{ m}}{0.35 \text{ m}}$$

$$B = 302.9 \text{ N}.$$

Punto A

$$A_x; \leftarrow + \sum F_x = 0$$

$$A_x - B = 0$$

$$A_x = 302.9 \text{ N}$$

$$A_y; \uparrow + \sum F_y = 0$$

$$A_y - 53 \text{ N}$$

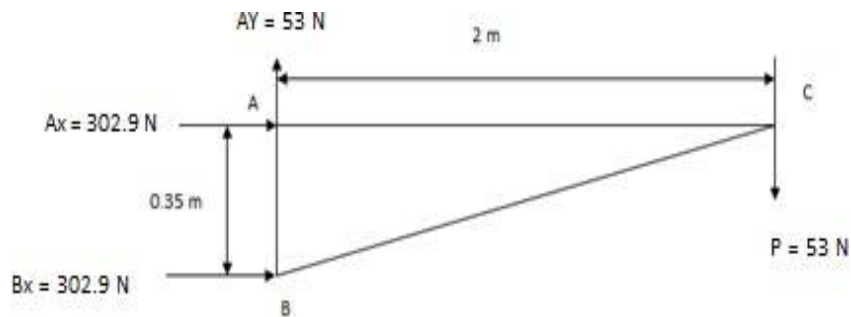


Fig. 4.37. Fuerzas que intervienen en la veleta.

Fuente: elaboración propia

Comprobación de los valores obtenidos en las fuerzas, recordando que la suma de los momentos de todas las fuerzas externas con respecto a cualquier punto debe ser = 0.

Considerando en este caso el punto B.

$$\curvearrowright +; \sum M_B = (53 \text{ N} * 2 \text{ m}) - (302.9 \text{ N} * 0.35 \text{ m}) = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

ALMACENAMIENTO DE AGUA Y DISTRIBUCIÓN

Una parte importante de un sistema de bombeo es el almacenamiento de agua y su distribución.

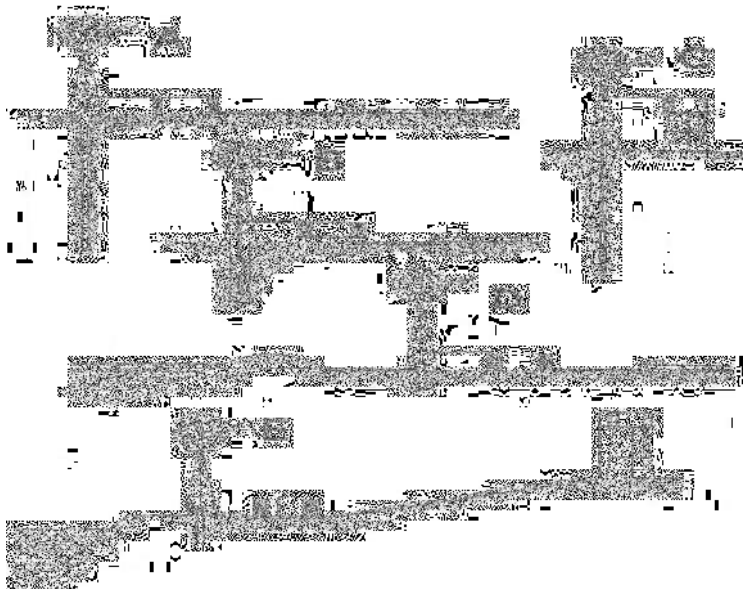


Fig. 4.38. Esquemas de almacenamiento utilizados en sistema de Aerobombeo.

Fuente: Catalogo de Southern Cross International, 1990.

Generalmente el tanque de almacenamiento regulariza el suministro de agua. La Aerobomba entrega el fluido de manera variable a lo largo del día. Igualmente, el tanque permite almacenar cantidades adicionales de agua que se pueden obtener en periodos de viento de alta intensidad, compensando con aquellos periodos de calma en los cuales no hay bombeo. En sistemas de Aerobombeo, generalmente, la dimensión volumétrica del tanque se determina para almacenar entre medio día y dos días de suministro de agua. La selección del tipo de tanque depende de circunstancias locales y de la aplicación. Mano de obra y materiales locales definirán el costo del tanque y la manera en que este puede ser construido. Para instalaciones donde se requiere alta presión de entrega de agua, se requerirá un tanque elevado, lo cual implica la necesidad de montar el tanque sobre una torre.

En la actualidad se consiguen en el mercado, tanques de polietileno ó tanques de concreto reforzado con acero a un costo de casi el doble. El sistema de distribución de agua, el cual depende de la aplicación impone las condiciones en las cuales el agua deba ser almacenada, sea que es un tanque elevado sobre una torre o simplemente colocado al ras de piso. Para sistemas de distribución se tendrá que cuantificar las pérdidas hidráulicas por fricción en tubería y accesorios hidráulicos como válvulas, rociadores, etc.

4.3 OBRA CIVIL

Esta obra consiste de las cimentaciones en concreto para el anclaje de la torre y del tanque de almacenamiento. Las especificaciones para esta obra generalmente vienen descritas en los manuales de instalaciones, pero se

debe tener cuidado porque algunas diferencias pueden existir de acuerdo al tipo de terreno y al tamaño del pozo. Especial atención se debe prestar a la alineación. La cimentación debe ser hecha de tal forma que la torre quede perfectamente vertical y, en el caso de un molino de bombeo sobre un pozo de poco diámetro, centrado alrededor de este. Un método común para centrar la torre es el siguiente: para la ubicación de las cimentaciones es necesario armar completamente el primer tramo de la torre; con una cuerda se "trazan" las diagonales del cuadrado que forma la base de la torre.

Una vez determinado este centro, se ubica la torre sobre el pozo y si es necesario con una plomada se va alineando hasta hacer que coincidan los centros de la torre y el pozo. Se debe tener cuidado, antes de hacer las cimentaciones, verificar que los lados de la torre estén perfectamente nivelados en los cuatro costados, lo que garantizará que la torre quede vertical.

Se debe tener en cuenta además que, la torre soportará todo el empuje del viento sobre el molino y el viento por ráfagas, dependiendo del lugar por lo que de la buena calidad y ubicación de la cimentación depende la vida del molino y su eficiencia en la extracción de agua. De la buena ubicación de los anclajes depende que la torre quede vertical y opere eficientemente. La profundidad de este anclaje está determinada por el tipo de cargas que recibirá la torre. En los manuales generalmente están especificadas este tipo de dimensiones, pero una recomendación inicial es que cualquier anclaje requiere de por lo menos 0.5 m. de profundidad.

4.4. ANÁLISIS DE LA TORRE ESTRUCTURAL

El diseño de la torre del generador será de suma importancia ya que la misma soportará las cargas vivas y muertas. Debido a esto se necesitará que la misma sea estable y rígida, y que además soporten todas las fuerzas y reacciones que serán producidas por todos los medios, sean estos mecánicos o físicos. Para realizar el análisis y diseño de la estructura se necesita seguir los siguientes pasos:

- Importar un modelo geométrico.
- Definir los estados de carga y sus combinaciones.
- Definir materiales, secciones, perfiles

- Asignar las secciones a los diferentes elementos estructurales.
- Asignar las cargas (con su valor y dirección respectivos).
- Asignar las condiciones de apoyo a los puntos o nodos.
- Seleccionar el código de diseño a aplicarse (AISC – ASCE).

ANÁLISIS DE CARGAS

Cargas muertas.

Son aquellas que se mantienen en magnitud constante y con una posición fija durante la vida útil de la estructura; generalmente la mayor parte de las cargas muertas es el peso propio de la estructura. Es la que puede calcularse con una buena aproximación a partir de la configuración de diseño, de las dimensiones de la estructura y de la densidad del material.

Denominación	Carga
Aerogenerador	53kg
Torre	45 kg
Otros	5 kg
total	103 Kg

Tabla N° 4.20 Cargas muertas que actúan en la torre

Fuente: Elaboración propia

Cargas vivas.

Las cargas vivas son cargas variables en magnitud y posición debidas al funcionamiento propio de la estructura, es decir que son aquellas debidas al uso u ocupación de la construcción y que la identifican.

Generalmente actúan durante períodos cortos de la vida de la estructura. También incluyen el impacto.

En la torre se incluye una carga viva que provoca el operario que colocará el convertidor de energía en la cima de la misma, de la siguiente manera, en la figura se tiene una persona subida en la escalera la cual produce una carga puntual (RA) en la torre, y mediante las condiciones de equilibrio se tiene:

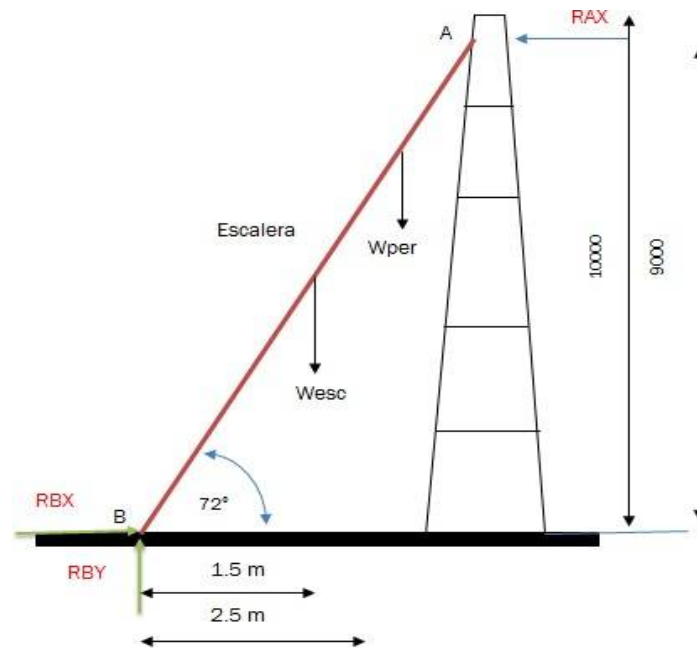


Fig. 4.39 Diagrama de equilibrio.

Fuente: elaboración propia

$$\sum F_y = 0$$

$$RB_Y = W_{esc} + W_{per}$$

$$RB_Y = 20kg + 74kg$$

$$RB_Y = 94kg$$

$$\sum F_x = 0$$

$$RB_x = RA_x$$

$$\sum MB = 0$$

$$RA_x(9000) = W_{esc}(1500) + W_{per}(2500)$$

$$RA_x = 23.87kg = RB_x$$

Por lo tanto, se tendrá una carga viva en dirección “x” de 23.87 kg con respecto a la torre, también se dispondrá de una opción en la que el operario se subirá a la torre para el montaje mediante los cuales provocaran una carga de 74 Kg en dirección vertical “y” Cargas de viento. Estas cargas dependen de la ubicación de la estructura, de su altura, del área expuesta y

de la posición. Las cargas del viento se manifiestan como presiones y succiones.

Dicha carga ya fue calculada anteriormente para el análisis de la tornamesa, Conjunto veleta – placa guía, la misma que es igual a: $W_{cm} = 83 \text{ kg/ m}$.

Los materiales utilizados para el análisis estructural, son: Acero estructural ASTM A-36 L 40x40x 6. Posteriormente se señala toda la estructura para dar el perfil adecuado que en este caso se seleccionó un ángulo de L 40x40x6 disponible en el mercado. La estructura si resiste, aunque esta está sobredimensionada, pero se justifica por la razón de que las cargas de mayor valor son axiales y las de menor valor son las cargas del viento y el peso de la escalera son radiales las que producen que los nudos de la estructura se flexionen. La barra de colores indica la relación de esfuerzos, esta relación no debe ser mayor o igual a uno. El valor máximo aceptable es de 0.95. Analizando la gráfica podemos observar que no tenemos perfil que presentan fallas.

La condición de que los factores de seguridad sean menores a 1 es que debe cumplir la relación de esbeltez que es igual a:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} < 1$$

$$f_a = \text{Esfuerzo axial} \frac{F}{A}$$

$$F_a = \text{Esfuerzo permisible.}$$

$$F_b = \text{Esfuerzo de flexión.}$$

$$F_b = 0.66 F_y^{45}$$

RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados se enfocarán a las cargas y combos más representativos es decir los de mayor valor.

De esta manera se procede para cada uno de los combos para determinar los valores de momento de deformación. Con lo que se puede concluir que la estructura soporta las diferentes cargas aplicadas.

CAPÍTULO V.

ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

5.1 RESULTADOS EN TABLAS Y GRAFICAS - ANÁLISIS DE COSTOS.

Los costos no pueden diagnosticarse con absoluta certeza, pero nos dan una información confidencial y nos sirve de apoyo útil para la planeación, control y toma de dediciones.

Costos directos.

Son los precios que tiene cada uno de los materiales empleados para la construcción del sistema de bombeo eólico.

Tabla 5.1. Plantilla de cálculo de costos directos:

Descripción	Costo total (\$)
Material para perfiles + celosías tipo araña	250
Materiales para torre	650
Eje, chaveta rodamientos, pernos, bridas	160
Bomba de pistón cilindro, varilla de transmisión	520
Soporte de tornamesa	180
Tubería de succión y descarga + accesorios	95
Materiales para el rotor	85
Materiales varios	150
SUBTOTAL = 2090	

Fuente: elaboración propia

Costos indirectos

Son todos los gastos correspondientes a la utilización de maquinaria, costó de mano de obra, entre otros que no se ven reflejados directamente en la construcción.

COSTO DE MAQUINARIA. - Es un valor por las horas de trabajo de cada máquina que fue necesaria para la construcción de nuestra propuesta.

Tabla 5.2. Plantilla de cálculo de costos de maquinaria.

Maquinaria	Costo/hora	Horas empleadas	Subtotal(\$)
Torno	5.50	15	82.50
Taladro de	1.00	10	10.00
Suelda eléctrica	1.50	20	30.00
Pulidora	1.10	10	11.00
Fresa	7.00	10	50.00
Herramientas			50.00
SUBTOTAL			233.5

Fuente: elaboración propia

COSTO DE MANO DE OBRA. - Es el valor que el personal gana por transformar la materia prima en producto final, la cual debe ser tomada muy en cuenta en cada análisis de costos.

Tabla 5.3. Plantilla de cálculo de costos mano de obra.

N° de trabajadores	Costo/hora	Horas empleadas (c/u)	Subtotal (\$)	Total (\$)
4	2.20	125	227	1100

Fuente: elaboración propia

COSTOS VARIOS. -

Son aquellos costos de actividades paralelas y no directas necesarias para la realización del proyecto.

Tabla 5.4. Plantilla de cálculo de costos varios.

Descripción	Costo (USD)
Viaje al sitio de la implementación del proyecto.	15.00
Copias	5.00
Impresiones	25.00
Internet	10.00
Subtotal	55.00
10% imprevistos	5.50
TOTAL	60.50

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, el costo indirecto total (C_{ind}) se evalúa con la siguiente ecuación:

$$C_{ind} = C_m + C_{mo} + C_v$$

Donde:

C_m = Costo de maquinaria utilizada

$$VAN = -p + \frac{FNE1}{(1+i)^1} + \frac{FNE2}{(1+i)^2} + \frac{FNE3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

$$VAN = -3484 + \frac{1012.6}{(1+0.12)^1} + \frac{1012.6}{(1+0.12)^2} + \frac{1012.6}{(1+0.12)^3} + \frac{1012.6}{(1+0.12)^4} + \frac{1012.6}{(1+0.12)^5}$$

$$VAN = 166.41 \text{ USD.}$$

Por lo tanto $VAN = 166.41 \text{ dólares} > 0$ el proyecto es rentable.

Donde:

p = Inversión inicial en el año cero.

FNE_n = Flujo neto de efectivo del año n .

i = Tasa referencial al que corresponde el TMAR.

$$TMAR = 12\%$$

Dónde:

Cm = Costo de maquinaria utilizada.

Cmo = Costo de mano de obra.

Cv = Costos varios.

Cind= 2090 + 1100 + 60.5

Cind= 3250.5 USD.

5.1.1 Costo total de construcción del sistema de bombeo eólico.

La cantidad total gastada en la construcción del sistema d bombeo eólico se determina mediante la suma de los costos directos e indirectos:

$$Ct= Cdi + Cind$$

Dónde:

Ct = Costo total.

Cdi = Costos directos.

Cind = Costos indirectos.

5.1.2 TMAR

Como todo inversionista tiene en mente antes de invertir, beneficiarse por el desembolso que va a ser, por lo tanto, la tasa mínima atractiva de retorno, se considera como premio al riesgo, ya que todo inversionista merece una ganancia adicional a la inflación. Por lo tanto, se consideró una tasa de interés del 12% (tasa de préstamo bancario). Interés que está vigente en las diferentes agencias bancarias ya que en todo tipo de negocio se aspira obtener una ganancia por tal razón se realizara con el análisis económico con el enteres ante expuesto, ya que toda maquinaria tiene una vida útil de 5 años. Se calculó el valor actual neto considerando una inversión inicial de 3484 (USD.), y un valor de salvamento de cero.

Recuperación de la inversión.

Para tener una proyección real del tiempo en que se podrá recuperar la inversión que se dará en este proyecto, se detalla a continuación los ingresos anuales que se podrá obtener con dicho proyecto.

Este tipo de sistema de bombeo eólico podrá generar $4.37 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$. Generando una utilidad promedio de $0.25 \frac{ctv}{m^3}$. Es el costo de un metro cubico hora, pero se necesita $1.57 \frac{m^3}{h}$. Por lo cual se procede a determinar el costo real que en este caso es de 0.40 cts

Tabla 5.5. Utilidad generada por la máquina de bombeo.

Caudal ()	Utilidad /	Utilidad diaria	Utilidad	Utilidad anual
		(8 horas)	mensual	
1.57	0.40	3.20	96	1152

Fuente: elaboración propia

Igualmente, los costos de operación y mantenimiento anual se estiman entre un 3 y 5% del costo de la Aerobomba.

Para lo cual tomamos un valor del 4 % del costo total de la máquina:

$$Mto = 3484 * 0.04 = 139.4$$

Dando una ganancia anual = 1012.6 USD.

Valor actual neto (VAN).

VAN, valor actual neto, es el valor presente de una o varias inversiones; porque a la suma de los flujos descontados se les resta la inversión inicial.

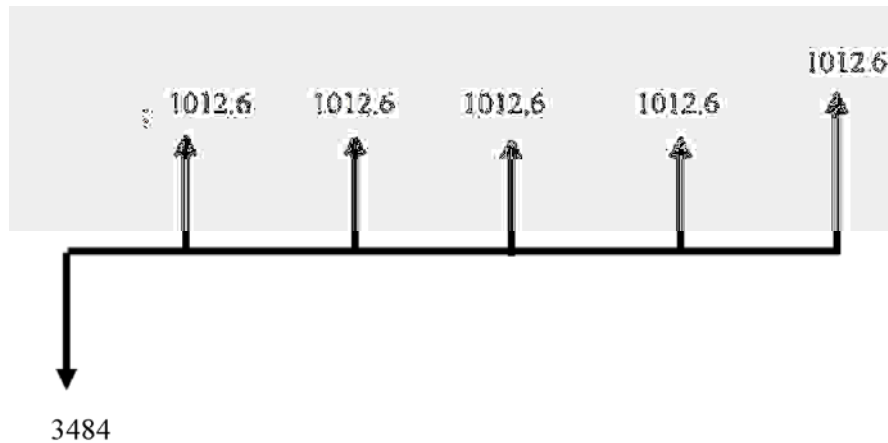


Fig. 5.1. Flujo efectivo para 5 años.

Fuente: elaboración propia

Donde:

p = Inversión inicial en el año cero.

FNE_n = Flujo neto de efectivo del año n .

i = Tasa referencial al que corresponde el $TMAR$.

$$TMAR = 12\%$$

$$VAN = -3484 + \frac{1012.6}{(1 + 0.12)^1} + \frac{1012.6}{(1 + 0.12)^2} + \frac{1012.6}{(1 + 0.12)^3} + \frac{1012.6}{(1 + 0.12)^4} + \frac{1012.6}{(1 + 0.12)^5}$$

$$VAN = 166.41 \text{ USD.}$$

Por lo tanto $VAN = 166.41$ dólares > 0 el proyecto es rentable.

Por lo tanto $VAN = 166.41$ dólares > 0 el proyecto es rentable.

Tasa interna de retorno TIR.

Aplicando la ecuación (6.125) y $VAN = 0$ calculamos.

$$0 = -3484 + \frac{1012.6}{(1 + i)^1} + \frac{1012.6}{(1 + i)^2} + \frac{1012.6}{(1 + i)^3} + \frac{1012.6}{(1 + i)^4} + \frac{1012.6}{(1 + i)^5}$$

$$i = 0.14$$

$$TIR = 14\%$$

5.2 DISCUSION DE RESULTADOS - INTERPRETACIÓN DEL VAN Y DEL TIR.

Como el TIR es mayor que TMAR la opción de construir un sistema de bombeo eólico representa una buena opción.

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES

1. Se diseño las autopartes de un molino de viento, consistentes en: Rotor de $D = 2.6$ m; Numero de palas = 12; de material de tol galvanizado, con su respectivo pistón, la torre es de fierro galvanizado, con L 40x40x6.
2. Se midió con la ayuda de un anemómetro, así mismo el análisis de la estadística descriptiva con los datos de la muestra tomada donde estudiamos lo que ocurre en el comportamiento del viento registrado por el anemómetro, así como los datos obtenidas de las estaciones meteorológicas Manchungal y el Pintor, dichos datos determinan específicamente si el viento genera suficiente energía y dirección para poder justificar el uso de la Aerobomba.
3. Se calculo la potencia necesaria para poder accionar el pistón y de esta manera accionar el sistema, bombeando agua desde la parte baja a la parte alta.
4. Se diseño un plan de mantenimiento para la aerobomba y al mismo tiempo se calculó los costos.
5. Se vio rentable el sistema de bombeo por aerobomba, y los materiales para la construcción de este son cómodos.

6.2 RECOMENDACIONES

1. La Aerobomba debe ubicarse en el lugar donde se realizó el estudio y donde se cuente con velocidad media del viento de 3.5 m/s. con el propósito de generar la potencia necesaria para bombeo.
2. Ubicar la bomba sobre un pozo con un caudal suficiente para evitar problemas con las partes que conforma bomba La velocidad promedio del viento imperante en el sector fue de 3,5 m/s, con la cual se determinó la potencia disponible para seleccionar un diámetro del rotor de 2,5 m. entre otros.

3. Conocer la velocidad promedio del viento en la zona de emplazamiento, esto implica conocer de antemano cual va a ser la fuente de agua que se dispone.
4. Se requiere conservar una altura de aspiración mínima de (ha 9.5 m) para evitar la cavitación, si sobrepasa esta altura de aspiración se sobrecarga el sistema.
5. El diseño del perfil es muy importante ya que es el que comunica el movimiento directamente al rotor donde se encuentra es sistema que trasmite el movimiento a la bomba.
6. Una vez caracterizado el viento se debe obtener la energía y la potencia que el sistema será capaz de generar en las condiciones dadas. En esta etapa es necesaria la utilización de otros datos como: temperatura y densidad media del aire en el lugar de emplazamiento, etc. Es importante brindar un adecuado mantenimiento al sistema para evitar problemas en su funcionamiento, asegúrese de leer y comprender el manual de operación y mantenimiento, seguir el plan de mantenimiento ya especificado para cada parte de la Aerobomba.

6.3 MANUAL DE INSTALACIÓN, REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO A UNA AEROBOMBA.

En este manual se presentan todos los pasos a seguir para la instalación, mantenimiento y reparación de máquinas eólicas para el bombeo de agua, es bueno destacar que el cabezal y la bomba, en este manual se puede aplicar tanto en las máquinas industriales como artesanales, mejorando el rendimiento de estos equipos.

Este manual recoge, principalmente, la experiencia en la instalación, mantenimiento y reparación de diversos equipos, definida como el tiempo de operación continua, y la vida útil de una máquina depende mucho del diseño de la bomba y el seguimiento de las indicaciones para el mantenimiento de sus componentes.

Aspecto fundamental para una buena instalación.

Antes de realizar la instalación conviene preparar a las personas participantes para que se identifiquen con el procedimiento y conozcan tanto los componentes como las herramientas que serán usadas.

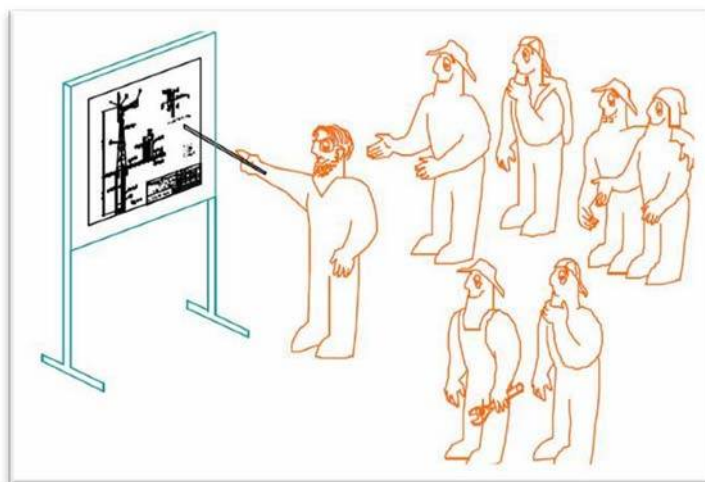


Fig. 6.1. Preparación a los involucrados en el proyecto

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Manual de la Instalación.

Debe ser realizada de una forma tal que el rotor capte la mayor cantidad de viento posible.

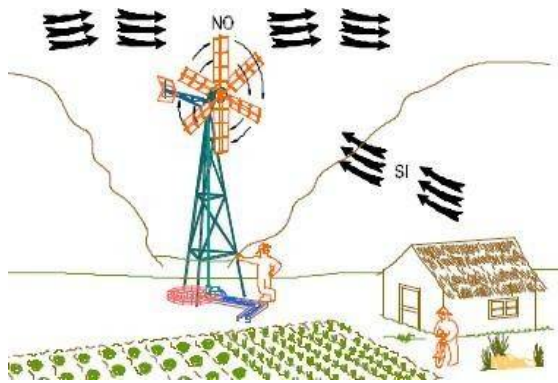


Fig. 6.2. Colocación óptima de la aerobomba.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

El aerogenerador debe operar con los vientos predominantes e intensos, evitando obstáculos que desvíen o alteren el curso del viento.

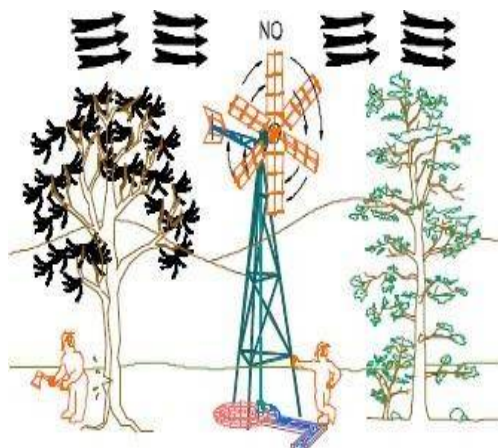


Fig. 6.3. Colocación no óptima de la Aerobomba.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Transporte de los componentes. Se debe realizar con vehículos apropiados para evitar el daño de estos.

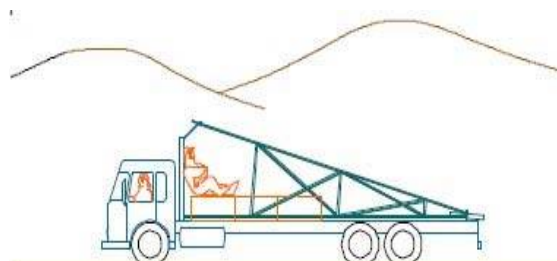


Fig. 6.4. Transporte de los componentes.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Descarga y traslado de los componentes. Estos deben ser dejados lo más próximo al lugar de instalación.

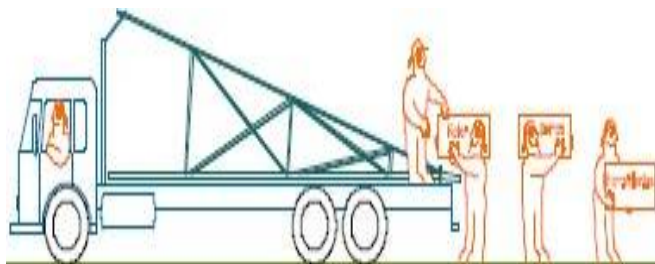


Fig. 6.5. Descarga de los componentes.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Ubicación de componentes en el lugar de instalación.

Colocar en el terreno, estos según la secuencia de instalación.



Fig. 6.6. Descarga de Tornamesa y Velea.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

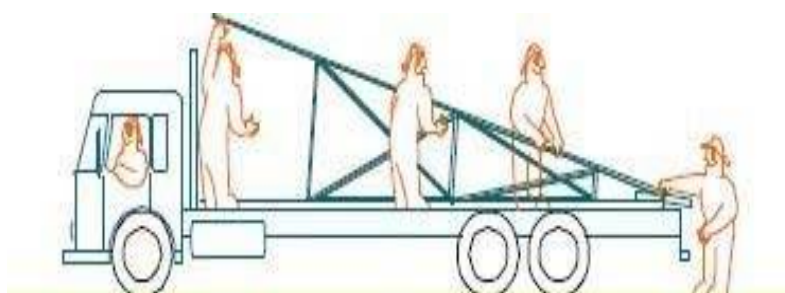


Fig. 6.7. Descarga de Torre.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

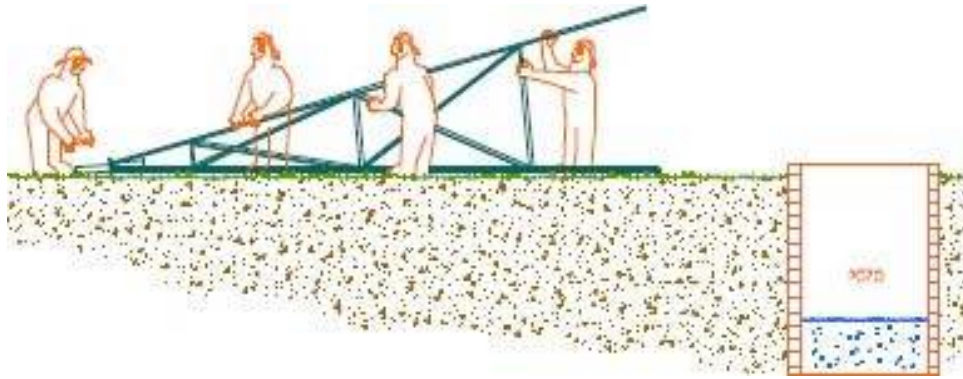


Fig. 6.8. Traslado de Torre al lugar de instalación.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Componentes de un Molino de Viento

Los elementos que conforman el Rotor son:

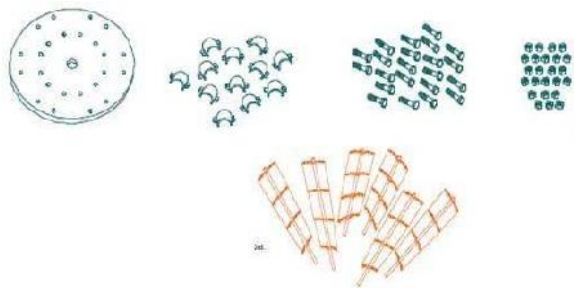


Fig. 6.9. Rotor, abrazaderas, pernos tuercas, aspas.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Los elementos que conforma la tornamesa son:

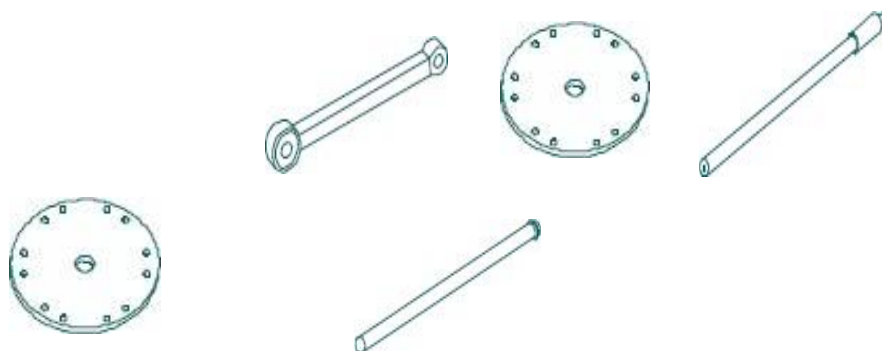


Fig. 6.10. Plato del rotor, biela, plato manivela, eje

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Los elementos que conforman la Veleta son:

1. Soporte de la veleta.
2. Cola

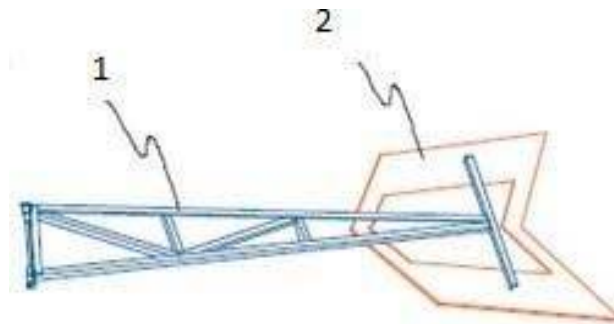


Fig. 6.11. Componentes de la veleta.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Los elementos que conforman la transmisión son:

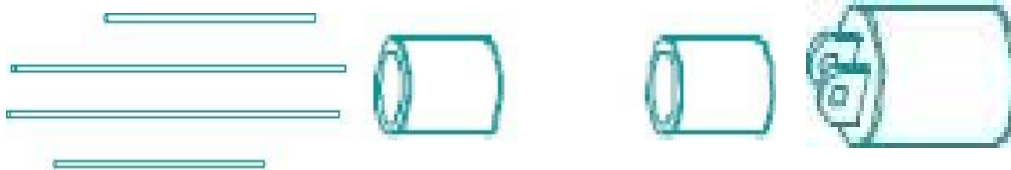


Fig. 6.12. Barra, uniones, rotula.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004.

Los elementos que conforman la Bomba son:

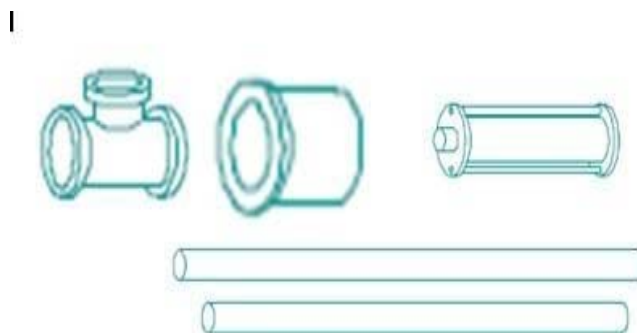


Fig. 6.13. Tee, válvula de pie, cuerpo de bomba, tubo de descarga, tubo de aspiración.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Las herramientas y elementos de unión necesarios para la Instalación de un Molino de viento son:

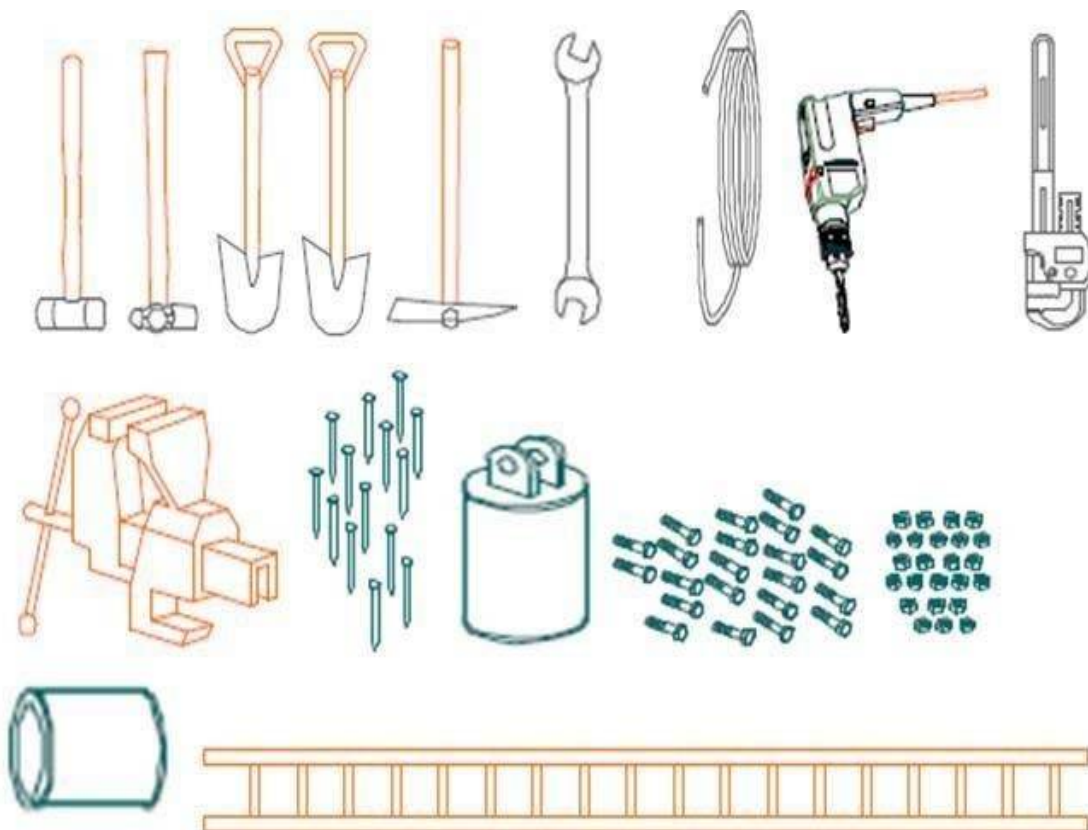


Fig. 6.14. Martillo, lampa, pico, llaves, soga, taladro, pico de loro, entenalla, clavos, rotula, tuercas y pernos, uniones, escalera.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Pasos para la Instalación de un Molino de Viento.

Verificar las medidas del Rotor.

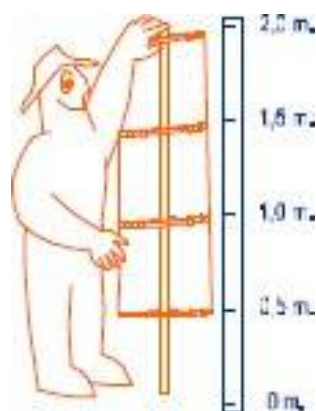


Fig. 6.15. Verificar las medidas de la pala y diámetro del Rotor.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Preparación de la Tornamesa.



Fig. 6.16. Montaje del Plato Rotor en la Tornamesa.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

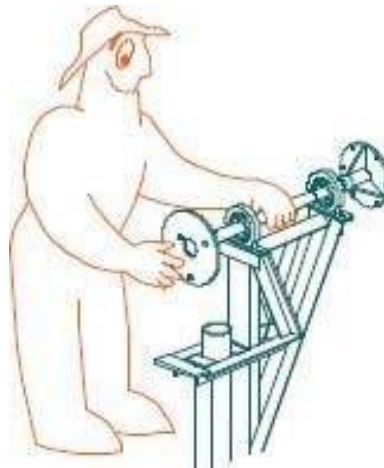


Fig. 6.17. Colocación del Plato Manivela en la Tornamesa.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

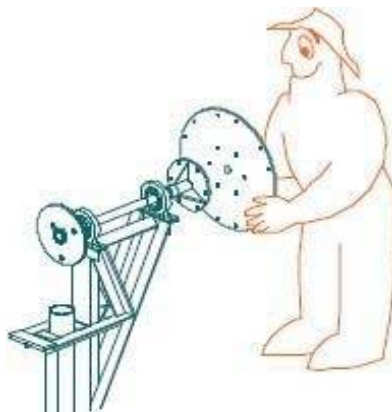


Fig. 6.18. Colocación del cubo en el eje.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

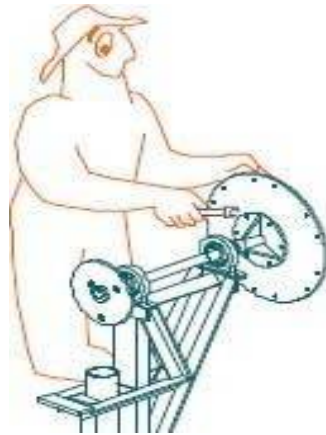


Fig. 6.19. Aseguramiento de la cuba en el plato rotor.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

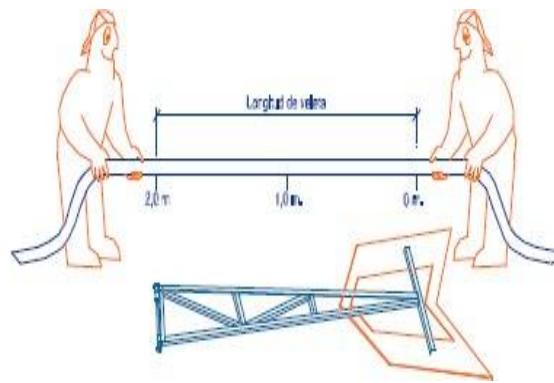


Fig. 6.20. Verificación de las dimensiones de la veleta.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

Instalación de la Bomba.

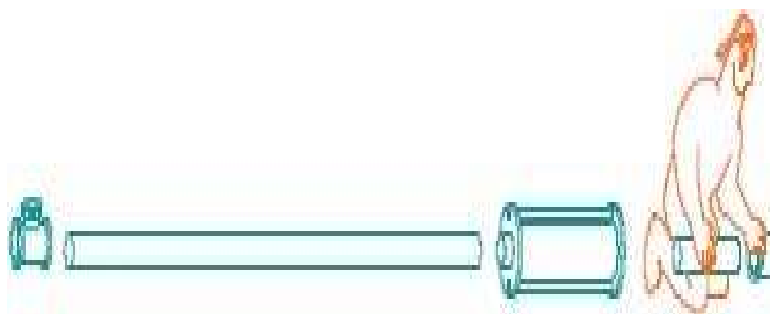


Fig. 6.21. Colocación del tubo de aspiración.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

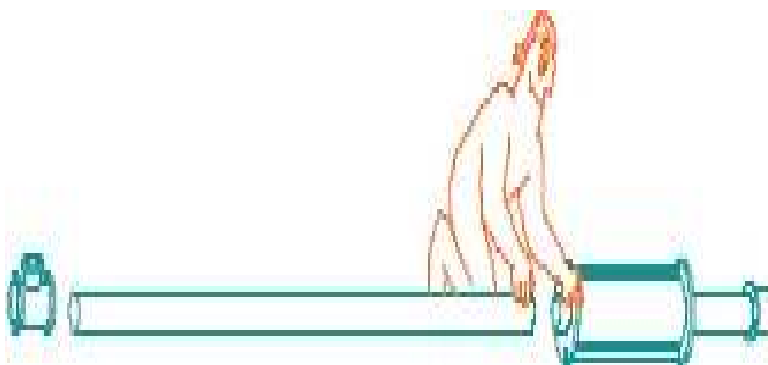


Fig. 6.22. Colocación el tubo de descarga.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

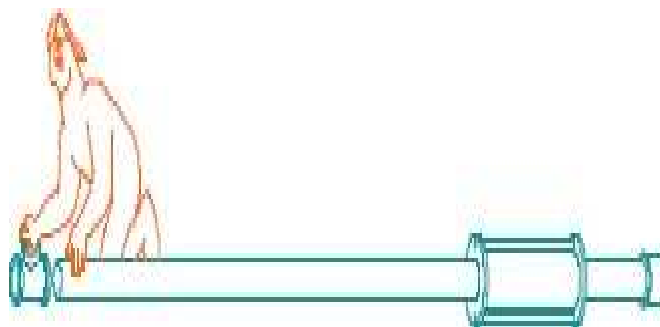


Fig. 6.23. Colocación de la Tee de salida de agua.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

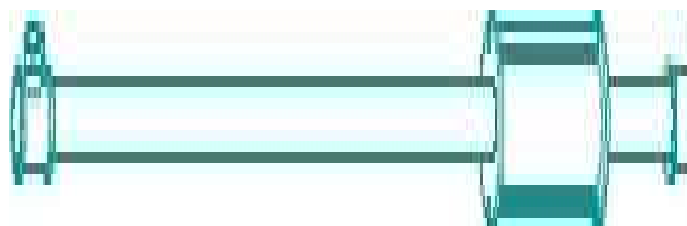


Fig. 6.24. Colocación de la bomba al pozo.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

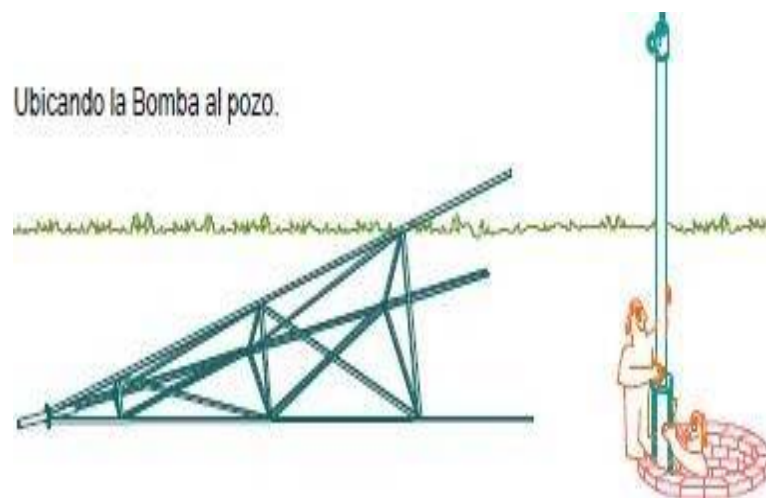


Fig. 6.25 Ubicando la bomba al pozo

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

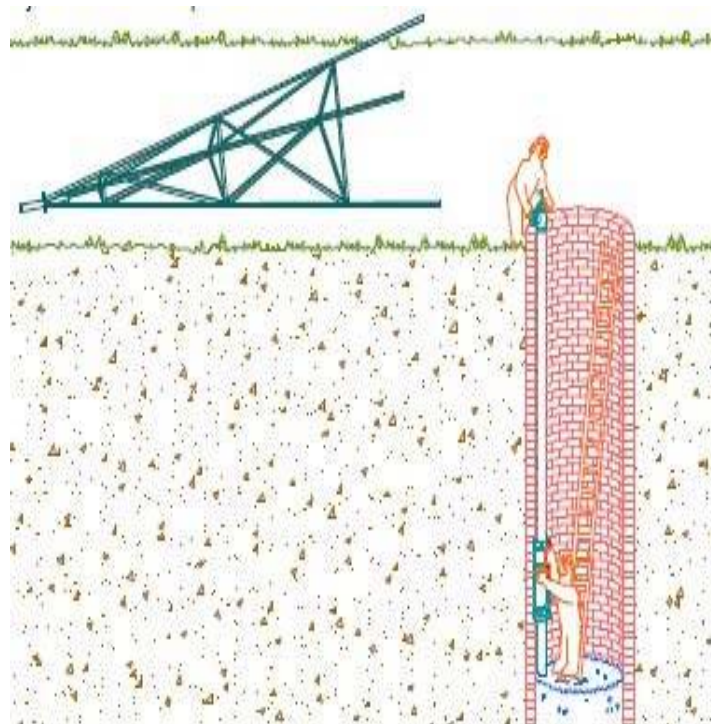


Fig. 6.26. Sujeción de la bomba al pozo.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

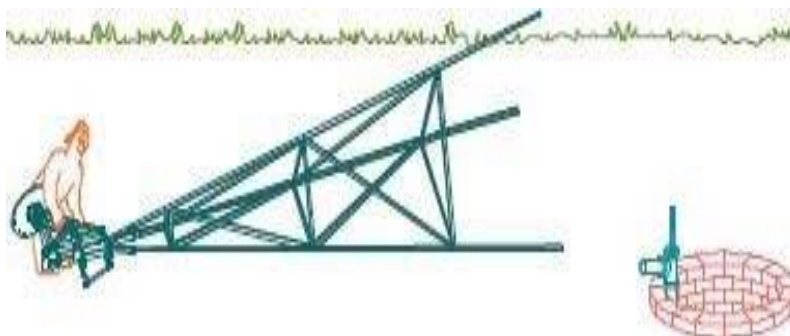


Fig. 6.27. Montaje de la tornamesa en el trípode de la torre.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

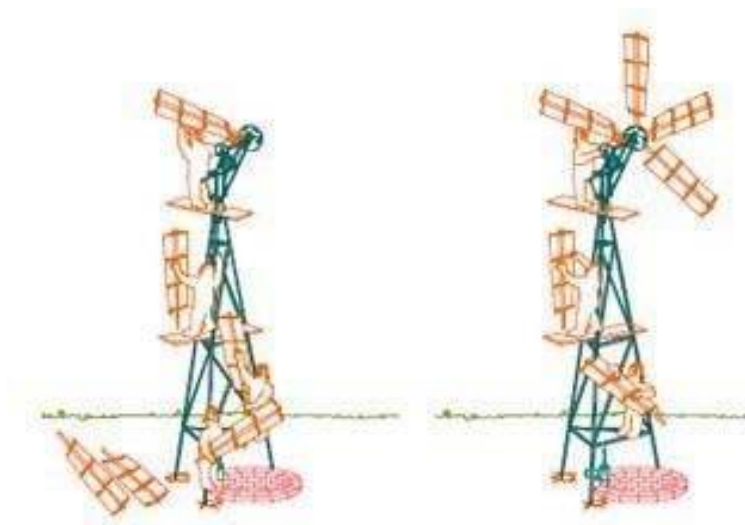


Fig. 6.28. Colocación de aspas

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

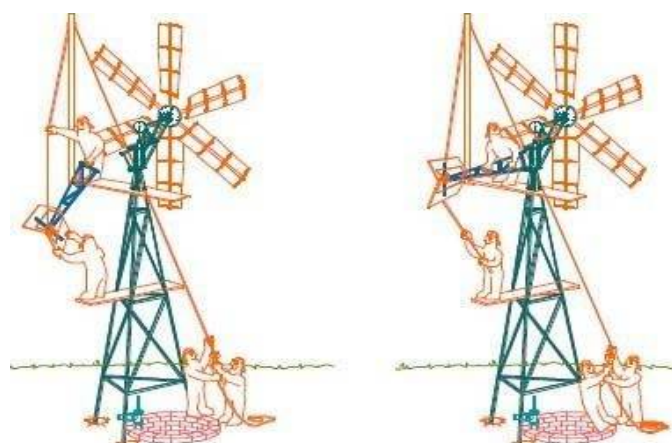


Fig. 6.29. Colocación de la veleta en la tornamesa.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

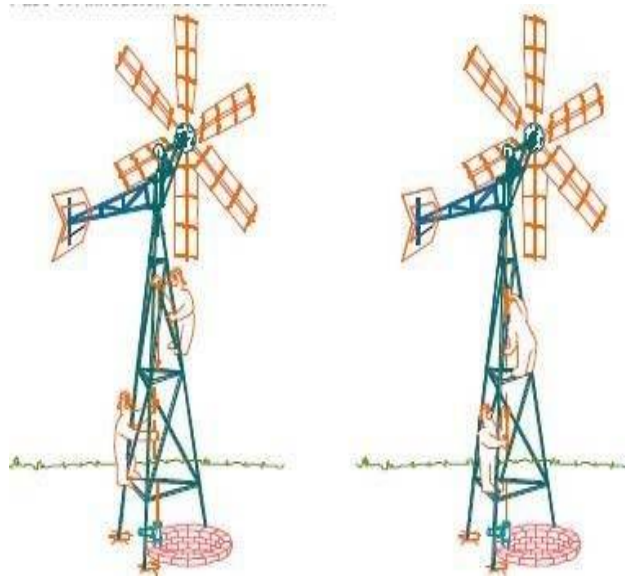


Fig. 6.30. Alineación de la transmisión.

Fuente: Área de planeamiento energético Lima 2004

6.3.1 MANTENIMIENTO DEL MOLINO DE VIENTO

Capacitación del personal

El sistema de aerobomba no es muy complejo, motivo por el cual el mantenimiento preventivo puede ser realizado por personal de la zona. El ingeniero supervisor del trabajo o responsable de la obra debe, de implementar la capacitación la personal que se encargará de la operación del molino.

La capacitación consistirá:

- Exposición de los principios fundamentales del funcionamiento de la aerobomba
- Reconocimiento de cada una de las partes de la aerobomba y su finalidad en el sistema.
- Posibles fallas y posibles motivos de las fallas en cada una de las partes
- Consecuencias de las fallas
- Prevención de las fallas
- Reparación inmediata de algunas fallas
- Herramientas básicas
- De ser fallas mayores como, cambio de bomba, recurrencia al profesional adecuado.

El mantenimiento del molino de viento es básicamente preventivo, no requiere de mano de obra especializada, estando en la posibilidad de ser realizado por el personal previamente capacitado.

El mantenimiento consiste en lubricar las partes en contacto como son el pin de unión entre manivela y biela, engrasar las vías de vástago, engrasar el tubo de la torre que encaja al tornamesa, engrasar la varilla

pasador que hace de bisagra para girar la veleta principal en la tornamesa, bañar en aceite la cruceta de madera.

Para que el sistema trabaje regularmente y se tenga un flujo de agua constante, la bomba debe darse un tratamiento especial debe desmontarse revisar el pistón y cambiar empaquetaduras; tanto de la válvula de pie y del pistón.

PLAN DE MANTENIMIENTO

Tabla 8.1. Plan de Mantenimiento Bianual

PARTE	MESES								
	1 3	0 6	0 9	1 2	1 5	1 8	2 1	2 4	
ROTOR -Desmontaje del Rotor: Limpieza, pintado de aspas, ajuste de soportes de ser necesario, pintado del marco, ajuste de pernería en general.								X	
TORNAMESA -Limpieza del tubo soporte (zona de contacto) -Desmontaje y pintado de estructura	X	X		X		X		X X	
TRANSMISIÓN -lubricación de corredera y unión giratoria ---Cambio de rodamientos -Repintado de elementos	X X X	X X X	X	X X X	X	X X X	X	X X X	
TORRE -Repintado de torre metálica -Baño con petróleo del tablón de escalera -Revisión de anclajes en las patas de la torre	X	X		X X		X		X X X	
BOMBA -Cambio de empaquetadura del pistón y válvula de pie -Cambio de pistón -Repintado del cuerpo de la bomba y cámaras de aire Inspeccion de aliviadero				X X				X X X	

BIBLIOGRAFÍA

1. ACESCO, Manual de Diseño de Perfiles Estructurales en Acero de lámina delgada. Edición actualizada N° 05, Julio 2016
2. BOHLER, Manual de Aceros especiales, broncees especiales, tratamientos térmicos, Mayo 2005.
3. CULTURAL S.A., Mecánica de taller, Metrología I, Tercera edición España, 1993
4. CUNTY GUY, Aeromotores y Aerogeneradores –Guía de la energía eólica, edición Marzo 1980, Barcelona - España.
5. DIPAC, Catálogo de aceros, Ecuador, Edición 2003.
6. EDICIONES DON BOSCO, Dibujo Mecánica 4, Barcelona, edición 1981.
7. ESCUELA POTECNICA NACIONAL, Manual of Steel Construction AISC, eighth edition, Chicago,- Illinois, Quito, Edición febrero 1997.
8. ENERGÍA EÓLICA, Miguel Villarrubia López, CEAC, España 2004.
9. FUNDACIÓN NATURA, Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones, Quito 2003.
10. HIBBELER, Ingeniería Mecánica Dinámica, Pearson Hall, séptima edición, México, 1996.
11. INEN, Dibujo Técnico – Mecánico, Quito – Ecuador, 1989.
12. IPAC, Catálogo de aceros, Ecuador, 2002.
13. IVAN BOHMAN C.A, Catálogo de aceros, Ecuador, 2009
14. Mc CORMAC J, Diseño de Estructuras Metálicas- Método ASD, Alfa omega, Cuarta edición, México, 1999.
15. MORA IDROVO EDUARDO W, Utilización de Energía Eólica para Extracción de Agua. Ecuador 1983
16. MOTT Robert, Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Segunda edición, México, 1992.
17. PANER, Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2011-2012, Informe técnico, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España, 2010 Disponible en: http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/Energia, Renewable/Documents/20100630_PANER_Espanaversion_final.pdf (acceso, 01.07.16)

18. SÁNCHEZ TEODORO CAMPOS: Desarrollo Tecnológico de Micro generadores eólicos
19. SANTILLÁN R, Recursos energéticos no convencionales- energía eólica, Riobamba- Ecuador, 1986.
20. SANTILLÁN RODOLFO: Fuentes renovables de energía
21. SHIGLEY Joseph, Manual de diseño mecánico, Mc Graw-Hill, Cuarta edición, México, 1989
22. SHIGLEY Joseph, Diseño en Ingeniería Mecánica, Mc Graw-Hill, Quinta Edición, México, 1990
23. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/export/bagua-grande_per%C3%BA_3699484?daterange=2017-11-12+to+2017-11-13¶ms=¶ms%5B%5D=32%3B10+m+above+gnd%3B31%3B10+m+above+gnd&utc_offset=5&aggregation=daily&temperatureunit=CELSIUS&windspeedunit=METER.

Internet

1. www.aerobombas.com, acceso 2-03-2009
2. www.aerobombas/instalaciones.htm, acceso 2-02-2009
3. www.aerogeneradores.com, acceso 12-03-2009
4. [www.Bombeo eólico, Molinos de viento, Aerobombas.com](http://www.Bombeo_eólico,Molinos_de_viento,Aerobombas.com), acceso 5-03-2009
5. www.bombas.com, acceso 20-02-2009
6. [www. Bombas hidráulicas.com](http://www.Bombas_hidráulicas.com), p 1, acceso 16-01-2009
7. www.clima.com, acceso 2-03-2009
8. www.energía-eólica.com, acceso 29-02-2009 [www. INAMHI.com](http://www.INAMHI.com), acceso 2-09-2009 www.molinos.com, acceso 23-03-2009
9. [www.PortalCiencia_ Viento Origen y clasificacion.com](http://www.PortalCiencia_Viento_Origen_y_clasificacion.com), acceso 5-03-2009
10. www.rotos.com, acceso 13-02-2009 www.vientos.com, acceso 23-03-2009 www.wind-power.com, acceso 8-03-2009
11. Ministerio de Justicia. Código de aguas. <http://www.bcn.cl/leves/pdf/actualizado/5605.pdf>
12. ALVENT. [http://www.aerobombas.com/características .shtml](http://www.aerobombas.com/características.shtml)

13. JOBER MOLINO. <http://www.industriasjober.com/selección.htm> SEVMLe
Mistral.<http://www.eolienne-le-mistral.com/index.htm#>
Comet.<http://www.cometwindmills.com.au/products.html>
Turbex.<http://www.turbex.co.za/competition.htm>
14. Alvaro Pinilla.Harold Hernández. Disminución de carga de arranque en
aerobombas, resumen.
<http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev5art2.pdf?ri=d440d879453873558618351c5b5ab8>
15. Southern Cross.<http://windmillz.biz/>
16. Salmson. [http://www.salmson.fr/pdf/guide add surp.pdf](http://www.salmson.fr/pdf/guide%20add%20surp.pdf)
17. [http://sleekfreak.ath.cx:81/3wdev/VITAHTML/SUBLEV/EN1/RENENRGY.H
T M](http://sleekfreak.ath.cx:81/3wdev/VITAHTML/SUBLEV/EN1/RENENRGY.HTM)
18. [http://146.83.6.25/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR
MEMORIA FINAL.pdf](http://146.83.6.25/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR%20MEMORIA%20FINAL.pdf)<http://www.iit.upco.es/~oscar/pfc/sesion02.pdf>
19. <http://www.iit.upco.es/~oscar/pfc/sesion02.pdf>
20. [http://www.windenergy.org/http://www.tecnopoint.com/es/biblioteca/develop
os ustentable/Energia/energía-eólica-energía-de-viento/](http://www.windenergy.org/http://www.tecnopoint.com/es/biblioteca/developments/sustainable/Energia/energía-eólica-energía-de-viento/)
21. <http://www.windatlas.dk/World/Index.htm>
22. <http://www.bergey.com/Maps/World.Wind.Lg.htm>
23. <http://www.windturbine.net/Siting.htm>
24. http://oceanography.geol.ucsb.edu/AWP/Class_Info/GS-
25. <http://www.dailykos.com/story/2005/5/25/112821/690>
26. www.molinosjober.com
27. <http://extractoresgm.galeon.com/productos931826.html>
28. <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/INDEX.htm>
29. <http://200.10.149.215/tesis/D-5130.pdf>.
30. <http://www.asades.org.ar/averma/3-1999/06-33.pdf>.

ANEXOS







ANEXO 1. PRONOSTICO DEL TIEMPO

1. Perú. Amazonas. Bagua Grande

Pronóstico del tiempo para Bagua Grande

Lunes, 4 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:51, Puesta del sol 18:18.
La Luna: Salida de la luna 19:37, Puesta de la luna 06:47, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la mañana de 06:01 a 12:00	 +21...+24 °C ↑ Parcialmente nublado	 El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh La humedad: 75-82% La presión: 1011-1013 hPa
el mediodía de 12:01 a 18:00	 +24...+26 °C ↑ Parcialmente nublado	 El viento: Ventolina, este, velocidad 4-7 kmh La humedad: 66-74% La presión: 1005-1011 hPa
la tarde de 18:01 a 00:00	 +22...+24 °C ↓ Las lluvias fuertes	 El viento: Ventolina, sureste, velocidad 4-7 kmh La humedad: 71-83% La presión: 1007-1012 hPa

El lunes, 4 de diciembre 2017 en Bagua Grande el tiempo será:

en la mañana el aire se calienta a +21...+24°C, punto de rocío: +18,56°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: **Algo molesto para la mayoría de las personas mayores**; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, pequeñas nubes en el cielo









en el mediodía el aire se calienta a +24...+26°C, punto de rocío: +19,14°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: **Algo molesto para la mayoría de las personas mayores**; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 4-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +22...+24°C, punto de rocío: +18,73°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: **OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores**; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Martes, 5 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:51, Puesta del sol 18:18.
La Luna: Salida de la luna 20:40, Puesta de la luna 07:50, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche de 00:01 a 06:00	 +21...+22 °C ↓ Lluviosos	 El viento: Ventolina, sureste, velocidad 0-4 kmh La humedad: 84-89% La presión: 1011-1012 hPa
la mañana de 06:01 a 12:00	 +21...+23 °C ↑ Lluviosos	 El viento: Ventolina, este, velocidad 4-7 kmh La humedad: 74-85% La presión: 1013-1015 hPa
el mediodía de 12:01 a 18:00	 +23...+25 °C ↑ Lluviosos	 El viento: Ventolina, este, velocidad 4-7 kmh La humedad: 69-74% La presión: 1008-1012 hPa
la tarde de 18:01 a 00:00	 +22...+23 °C ↓ Las lluvias fuertes	 El viento: Ventolina, sureste, velocidad 4-7 kmh La humedad: 73-88% La presión: 1009-1013 hPa

El martes, 5 de diciembre 2017 en Bagua Grande el pronóstico del tiempo es la siguiente:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +21...+22°C, punto de rocío: +19,14°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: **Algo molesto para la mayoría de las personas mayores**; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +21...+23°C, punto de rocío: +18,27°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: **OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores**; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +23...+25°C, punto de rocío: +18,51°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: **OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores**; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +22...+23°C, punto de rocío: +18,96°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: **Algo molesto para la mayoría de las personas mayores**; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Miércoles, 6 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:52, Puesta del sol 18:19.
La Luna: Salida de la luna 21:40, Puesta de la luna 08:53, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+20...+21 °C ↓



Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, sur, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 88-93%
La presión: 1012-1013 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+20...+23 °C ↑



Lluviosos



El viento: Ventolina, este, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 74-93%
La presión: 1013-1016 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+24...+25 °C ↑



Lluviosos



El viento: Ventolina, este, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 73-77%
La presión: 1008-1012 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+22...+23 °C ↓



Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, noreste, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 76-91%
La presión: 1009-1013 hPa

El miércoles, 6 de diciembre 2017 en Bagua Grande el tiempo será:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +20...+21°C, punto de rocío: +18,88°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +20...+23°C, punto de rocío: +18,57°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +24...+25°C, punto de rocío: +19,77°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +22...+23°C, punto de rocío: +19,55°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de noreste con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Jueves, 7 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:52, Puesta del sol 18:19.
La Luna: Salida de la luna 22:37, Puesta de la luna 09:53, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+20...+22 °C ↓



Lluviosos



El viento: Ventolina, noreste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 89-94%
La presión: 1012-1015 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+21...+23 °C ↑



Lluviosos



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 76-88%
La presión: 1011-1013 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+24...+25 °C ↑



Nublados, las nubes



El viento: Ventolina, este, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 68-74%
La presión: 1009-1011 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+23...+24 °C ↓



Nublados, las nubes



El viento: Ventolina, sureste, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 67-75%
La presión: 1008-1009 hPa

El jueves, 7 de diciembre 2017 en Bagua Grande el pronóstico del tiempo es la siguiente:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +20...+22°C, punto de rocío: +19,55°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de noreste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +21...+23°C, punto de rocío: +18,77°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +24...+25°C, punto de rocío: +18,88°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; nubes sobre el cielo, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +23...+24°C, punto de rocío: +17,92°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; nubes sobre el cielo, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Viernes, 8 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:52, Puesta del sol 18:20.
La Luna: Salida de la luna 23:29, Puesta de la luna 10:51, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+22...+23 °C↓

Parcialmente nublado



El viento: Ventolina, sur, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 77-80%
La presión: 1011-1012 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+22...+25 °C↑

Nublados, las nubes



El viento: Ventolina, noroeste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 68-80%
La presión: 1009-1013 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+26...+27 °C↑

Nublados, las nubes



El viento: Ventolina, noreste, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 62-65%
La presión: 1008-1009 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+23...+25 °C↓

Lluviosos



El viento: Ventolina, sureste, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 65-73%
La presión: 1007-1009 hPa

El viernes, 8 de diciembre 2017 en Bagua Grande el tiempo será:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +22...+23°C, punto de rocío: +18,56°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 0-4 kmh, pequeñas nubes en el cielo

en la mañana el aire se calienta a +22...+25°C, punto de rocío: +18,58°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; nubes sobre el cielo, el viento Ventolina sopla de noroeste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +26...+27°C, punto de rocío: +19°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; nubes sobre el cielo, el viento Ventolina sopla de noreste con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +23...+25°C, punto de rocío: +17,94°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:28

Sábado, 9 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:53, Puesta del sol 18:20.
La Luna: Salida de la luna --:--, Puesta de la luna 11:44, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+22...+23 °C↓

Lluviosos



El viento: Ventolina, sur, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 75-80%
La presión: 1009-1012 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+22...+25 °C↑

Parcialmente nublado



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 72-82%
La presión: 1011-1013 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+25...+27 °C↑

Nublados, las nubes



El viento: Ventolina, noreste, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 67-71%
La presión: 1008-1009 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+23...+25 °C↓

Parcialmente nublado



El viento: Ventolina, sureste, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 73-76%
La presión: 1008-1009 hPa

El sábado, 9 de diciembre 2017 en Bagua Grande el pronóstico del tiempo es la siguiente:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +22...+23°C, punto de rocío: +18,33°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +22...+25°C, punto de rocío: +19,22°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, pequeñas nubes en el cielo









en el mediodía el aire se calienta a +25...+27°C, punto de rocío: +19,86°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; nubes sobre el cielo, el viento Ventolina sopla de noreste con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +23...+25°C, punto de rocío: +19,17°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 4-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

la longitud del día 12:27

Domingo, 10 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:53, Puesta del sol 18:21
La Luna: Salida de la luna 00:17, Puesta de la luna 12:35, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche de 00:01 a 06:00	 +22...+24 °C ↓ Claros, sin nubes	 El viento: Ventolina, sureste, velocidad 0-4 kmh La humedad: 73-77% La presión: 1009-1011 hPa
la mañana de 06:01 a 12:00	 +23...+28 °C ↑ Claros, sin nubes	 El viento: Ventolina, noreste, velocidad 0-4 kmh La humedad: 55-72% La presión: 1009-1012 hPa
el mediodía de 12:01 a 18:00	 +27...+30 °C ↑ Parcialmente nublado	 El viento: Ventolina, oeste, velocidad 4-7 kmh La humedad: 48-60% La presión: 1007-1008 hPa
la tarde de 18:01 a 00:00	 +24...+27 °C ↓ Parcialmente nublado	 El viento: Ventolina, sur, velocidad 4-7 kmh La humedad: 56-66% La presión: 1005-1008 hPa

El domingo, 10 de diciembre 2017 en **Bagua Grande** el tiempo será:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +22...+24°C, punto de rocío: +18,31°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 0-4 kmh, cielo sin nubes

en la mañana el aire se calienta a +23...+28°C, punto de rocío: +18,05°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de noreste con velocidad de 0-4 kmh, cielo sin nubes

en el mediodía el aire se calienta a +27...+30°C, punto de rocío: +18,3°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de oeste con velocidad de 4-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +24...+27°C, punto de rocío: +17,41°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 4-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

la longitud del día 12:28







FUENTE: METEOCAST

2. Perú. Amazonas. Bagua Grande. Cajaruro

Pronóstico del tiempo para Cajaruro

Lunes, 4 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:51, Puesta del sol 18:17
La Luna: Salida de la luna 19:37, Puesta de la luna 06:47, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la mañana de 06:01 a 12:00	 +21...+24 °C ↑ Las llluvias fuertes	 El viento: Ventolina, suroeste, velocidad 0-4 kmh La humedad: 68-82% La presión: 1011-1013 hPa
el mediodía de 12:01 a 18:00	 +24...+25 °C ↑ Las llluvias fuertes	 El viento: Ventolina, sureste, velocidad 4-7 kmh La humedad: 63-69% La presión: 1007-1011 hPa
la tarde de 18:01 a 00:00	 +22...+24 °C ↓ Las llluvias fuertes	 El viento: Ventolina, sureste, velocidad 0-4 kmh La humedad: 71-79% La presión: 1007-1012 hPa

El lunes, 4 de diciembre 2017 en **Cajaruro** el tiempo será:

en la mañana el aire se calienta a +21...+24°C, punto de rocío: +17,83°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **se esperan fuertes llluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de suroeste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +24...+25°C, punto de rocío: +17,72°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **se esperan fuertes llluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +22...+24°C, punto de rocío: +18,31°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **se esperan fuertes llluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:26

Martes, 5 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:51, Puesta del sol 18:18.
La Luna: Salida de la luna 20:40, Puesta de la luna 07:50, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+21...+22 °C



Lluviosos



El viento: Ventolina, suroeste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 79-85%
La presión: 1011-1012 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+21...+23 °C



Lluviosos



El viento: Ventolina, suroeste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 64-80%
La presión: 1013-1016 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+23...+25 °C



Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, sureste, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 62-67%
La presión: 1008-1013 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+22...+23 °C



Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, noreste, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 72-87%
La presión: 1009-1013 hPa

El martes, 5 de diciembre 2017 en Cajaruro el pronóstico del tiempo es la siguiente:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +21...+22°C, punto de rocío: +18,28°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **lluvias débiles o localmente moderadas**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de suroeste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +21...+23°C, punto de rocío: +16,7°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **lluvias débiles o localmente moderadas**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de suroeste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +23...+25°C, punto de rocío: +16,87°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **se esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +22...+23°C, punto de rocío: +18,76°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; **se esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de noreste con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Miércoles, 6 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:52, Puesta del sol 18:18.
La Luna: Salida de la luna 21:40, Puesta de la luna 08:53, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+20...+21 °C



Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, noroeste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 83-89%
La presión: 1012-1015 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+20...+23 °C



Lluviosos



El viento: Ventolina, suroeste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 66-85%
La presión: 1013-1016 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+24...+25 °C



Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, sureste, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 66-72%
La presión: 1009-1013 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+22...+23 °C



Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, noreste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 75-85%
La presión: 1009-1015 hPa

El miércoles, 6 de diciembre 2017 en Cajaruro el tiempo será:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +20...+21°C, punto de rocío: +18,06°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **se esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de noroeste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +20...+23°C, punto de rocío: +16,97°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **lluvias débiles o localmente moderadas**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de suroeste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +24...+25°C, punto de rocío: +18,42°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **se esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +22...+23°C, punto de rocío: +18,86°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; **se esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de noreste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:26

Jueves, 7 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:52, Puesta del sol 18:19
La Luna: Salida de la luna 22:37, Puesta de la luna 09:53, Fase de la Luna: Luna menguante

la noche

de 00:01 a 06:00



Las lluvias fuertes

+20...+22 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 85-91%
La presión: 1012-1015 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



Lluviosos

+21...+23 °C



El viento: Ventolina, sureste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 71-83%
La presión: 1012-1013 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



Lluviosos

+24...+25 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 66-70%
La presión: 1009-1011 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



Lluviosos

+23...+24 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 71-74%
La presión: 1008-1011 hPa

El jueves, 7 de diciembre 2017 en Cajaruro el pronóstico del tiempo es la siguiente:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +20...+22°C, punto de rocío: +18,92°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +21...+23°C, punto de rocío: +17,76°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +24...+25°C, punto de rocío: +18,19°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +23...+24°C, punto de rocío: +18,25°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Viernes, 8 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:52, Puesta del sol 18:19
La Luna: Salida de la luna 23:29, Puesta de la luna 10:51, Fase de la Luna: Luna menguante

la noche

de 00:01 a 06:00



Lluviosos

+22...+23 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 74-75%
La presión: 1011-1012 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



Nublados, las nubes

+22...+25 °C



El viento: Ventolina, noroeste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 60-74%
La presión: 1011-1013 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



Nublados, las nubes

+26...+27 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 54-62%
La presión: 1008-1009 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



Nublados, las nubes

+24...+25 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 64-71%
La presión: 1007-1009 hPa

El viernes, 8 de diciembre 2017 en Cajaruro el tiempo será:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +22...+23°C, punto de rocío: +17,72°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +22...+25°C, punto de rocío: +17°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; nubes sobre el cielo, el viento Ventolina sopla de noroeste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +26...+27°C, punto de rocío: +17,56°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; nubes sobre el cielo, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +24...+25°C, punto de rocío: +18,07°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; nubes sobre el cielo, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado









la longitud del día 12:27

3. Perú. Amazonas **Bagua Grande** **La Peca**

Pronóstico del tiempo para La Peca

Sábado, 9 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:53, Puesta del sol 18:20.
La Luna: Salida de la luna --:--:--, Puesta de la luna 11:44, Fase de la Luna: Luna menguante

la noche de 00:01 a 06:00	 +20...+21 °C ↓ Las lluvias fuertes		El viento: Ventolina, este , velocidad 0-7 kmh La humedad: 76-77% La presión: 1012-1013 hPa
la mañana de 06:01 a 12:00	 +21...+24 °C ↑ Las lluvias fuertes		El viento: Ventolina, este , velocidad 0-4 kmh La humedad: 68-76% La presión: 1012-1015 hPa
el mediodía de 12:01 a 18:00	 +23...+25 °C ↑ Las lluvias fuertes		El viento: Ventolina, sur , velocidad 4-7 kmh La humedad: 64-73% La presión: 1011-1012 hPa
la tarde de 18:01 a 00:00	 +21...+23 °C ↓ Lluviosos		El viento: Ventolina, este , velocidad 0-4 kmh La humedad: 75-78% La presión: 1011-1012 hPa

El sábado, 9 de diciembre 2017 en **La Peca** el pronóstico del tiempo es la siguiente:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +20...+21°C, punto de rocío: +16,2°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se **esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +21...+24°C, punto de rocío: +17,18°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se **esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado









en el mediodía el aire se calienta a +23...+25°C, punto de rocío: +17,83°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se **esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +21...+23°C, punto de rocío: +17,66°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; **lluvias débiles o localmente moderadas**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Martes, 5 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:51, Puesta del sol 18:18.
La Luna: Salida de la luna 20:40, Puesta de la luna 07:50, Fase de la Luna: Luna menguante

la noche de 00:01 a 06:00	 +18...+20 °C ↓ Las lluvias fuertes		El viento: Ventolina, este , velocidad 0-4 kmh La humedad: 79-82% La presión: 1012-1013 hPa
la mañana de 06:01 a 12:00	 +19...+21 °C ↑ Las lluvias fuertes		El viento: Ventolina, sur , velocidad 0-7 kmh La humedad: 77-80% La presión: 1015-1016 hPa
el mediodía de 12:01 a 18:00	 +22...+24 °C ↑ Las lluvias fuertes		El viento: Ventolina, sur , velocidad 0-7 kmh La humedad: 71-78% La presión: 1009-1015 hPa
la tarde de 18:01 a 00:00	 +20...+22 °C ↓ Las lluvias fuertes		El viento: Ventolina, sureste , velocidad 0-4 kmh La humedad: 80-83% La presión: 1011-1016 hPa

El martes, 5 de diciembre 2017 en **La Peca** el pronóstico del tiempo es la siguiente:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +18...+20°C, punto de rocío: +15,55°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se **esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +19...+21°C, punto de rocío: +16,13°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se **esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +22...+24°C, punto de rocío: +18,21°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se **esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +20...+22°C, punto de rocío: +17,7°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se **esperan fuertes lluvias**, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Miércoles, 6 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:52, Puesta del sol 18:18.
La Luna: Salida de la luna 21:40, Puesta de la luna 08:53, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+18...+19 °C ↓

Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, sureste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 82-84%
La presión: 1013-1015 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+18...+22 °C ↑

Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, sur, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 76-84%
La presión: 1015-1017 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+23...+24 °C ↑

Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, sur, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 73-78%
La presión: 1011-1015 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+19...+22 °C ↓

Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 82-85%
La presión: 1012-1016 hPa

El miércoles, 6 de diciembre 2017 en La Peca el tiempo será:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +18...+19°C, punto de rocío: +15,54°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +18...+22°C, punto de rocío: +16,42°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +23...+24°C, punto de rocío: +18,9°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Algo molesto para la mayoría de las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +19...+22°C, punto de rocío: +17,59°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:26

Jueves, 7 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:52, Puesta del sol 18:19.
La Luna: Salida de la luna 22:37, Puesta de la luna 09:53, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+18...+20 °C ↓

Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 82-84%
La presión: 1013-1016 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+19...+22 °C ↑

Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, sur, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 72-82%
La presión: 1013-1015 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+23...+24 °C ↑

Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, sur, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 67-73%
La presión: 1011-1012 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+20...+22 °C ↓

Las lluvias fuertes



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 75-76%
La presión: 1011-1012 hPa

El jueves, 7 de diciembre 2017 en La Peca el pronóstico del tiempo es la siguiente:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +18...+20°C, punto de rocío: +16,03°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +19...+22°C, punto de rocío: +16,31°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +23...+24°C, punto de rocío: +17,69°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +20...+22°C, punto de rocío: +16,48°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Viernes, 8 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:53, Puesta del sol 18:19.
La Luna: Salida de la luna 23:28, Puesta de la luna 10:51, Fase de la Luna: Luna menguante

la noche

de 00:01 a 06:00



Las lluvias fuertes

+19...+20 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 76-77%
La presión: 1012-1013 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



Las lluvias fuertes

+20...+23 °C



El viento: Ventolina, noroeste, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 68-76%
La presión: 1012-1015 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



Las lluvias fuertes

+23...+25 °C



El viento: Ventolina, sur, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 65-73%
La presión: 1009-1012 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



Las lluvias fuertes

+21...+22 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 76-78%
La presión: 1009-1011 hPa

El viernes, 8 de diciembre 2017 en La Peca el tiempo será:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +19...+20°C, punto de rocío: +15,23°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +20...+23°C, punto de rocío: +16,22°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de noroeste con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +23...+25°C, punto de rocío: +17,94°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +21...+22°C, punto de rocío: +17,28°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:26

Sábado, 9 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:53, Puesta del sol 18:20.
La Luna: Salida de la luna ---, Puesta de la luna 11:44, Fase de la Luna: Luna menguante

la noche

de 00:01 a 06:00



Las lluvias fuertes

+20...+21 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 76-77%
La presión: 1012-1013 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



Las lluvias fuertes

+21...+24 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 68-76%
La presión: 1012-1015 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



Las lluvias fuertes

+23...+25 °C



El viento: Ventolina, sur, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 64-73%
La presión: 1011-1012 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



Lluviosos

+21...+23 °C



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-4 kmh
La humedad: 75-78%
La presión: 1011-1012 hPa

El sábado, 9 de diciembre 2017 en La Peca el pronóstico del tiempo es la siguiente:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +20...+21°C, punto de rocío: +16,2°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-7 kmh, el cielo está nublado

en la mañana el aire se calienta a +21...+24°C, punto de rocío: +17,18°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

en el mediodía el aire se calienta a +23...+25°C, punto de rocío: +17,83°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; se esperan fuertes lluvias, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 4-7 kmh, el cielo está nublado

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +21...+23°C, punto de rocío: +17,66°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: OK para la mayoría, aunque perceptible para las personas mayores; lluvias débiles o localmente moderadas, se recomienda coger un paraguas, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-4 kmh, el cielo está nublado

la longitud del día 12:27

Domingo, 10 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:53, Puesta del sol 18:20.
La Luna: Salida de la luna 00:17, Puesta de la luna 12:35, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+20...+21 °C ↓

Parcialmente nublado



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 66-74%
La presión: 1012-1013 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+21...+26 °C ↑

Claros, sin nubes



El viento: Ventolina, sureste, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 51-64%
La presión: 1011-1013 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+25...+28 °C ↑

Parcialmente nublado



El viento: Ventolina, sur, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 46-55%
La presión: 1009-1011 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+22...+25 °C ↓

Parcialmente nublado



El viento: Ventolina, este, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 52-60%
La presión: 1008-1009 hPa

El domingo, 10 de diciembre 2017 en **La Peca** el tiempo será:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +20...+21°C, punto de rocío: +14,81°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

en la mañana el aire se calienta a +21...+26°C, punto de rocío: +14,6°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 4-7 kmh, cielo sin nubes

en el mediodía el aire se calienta a +25...+28°C, punto de rocío: +15,38°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 4-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +22...+25°C, punto de rocío: +14,19°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 4-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

la longitud del día 12:27

Domingo, 10 De Diciembre 2017

El Sol: Salida del sol 05:53, Puesta del sol 18:20.
La Luna: Salida de la luna 00:17, Puesta de la luna 12:35, Fase de la Luna: Luna menguante 🌘

la noche

de 00:01 a 06:00



+20...+21 °C ↓

Parcialmente nublado



El viento: Ventolina, este, velocidad 0-7 kmh
La humedad: 66-74%
La presión: 1012-1013 hPa

la mañana

de 06:01 a 12:00



+21...+26 °C ↑

Claros, sin nubes



El viento: Ventolina, sureste, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 51-64%
La presión: 1011-1013 hPa

el mediodía

de 12:01 a 18:00



+25...+28 °C ↑

Parcialmente nublado



El viento: Ventolina, sur, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 46-55%
La presión: 1009-1011 hPa

la tarde

de 18:01 a 00:00



+22...+25 °C ↓

Parcialmente nublado



El viento: Ventolina, este, velocidad 4-7 kmh
La humedad: 52-60%
La presión: 1008-1009 hPa

El domingo, 10 de diciembre 2017 en **La Peca** el tiempo será:

en la noche la temperatura del aire disminuye a +20...+21°C, punto de rocío: +14,81°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 0-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

en la mañana el aire se calienta a +21...+26°C, punto de rocío: +14,6°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de sureste con velocidad de 4-7 kmh, cielo sin nubes

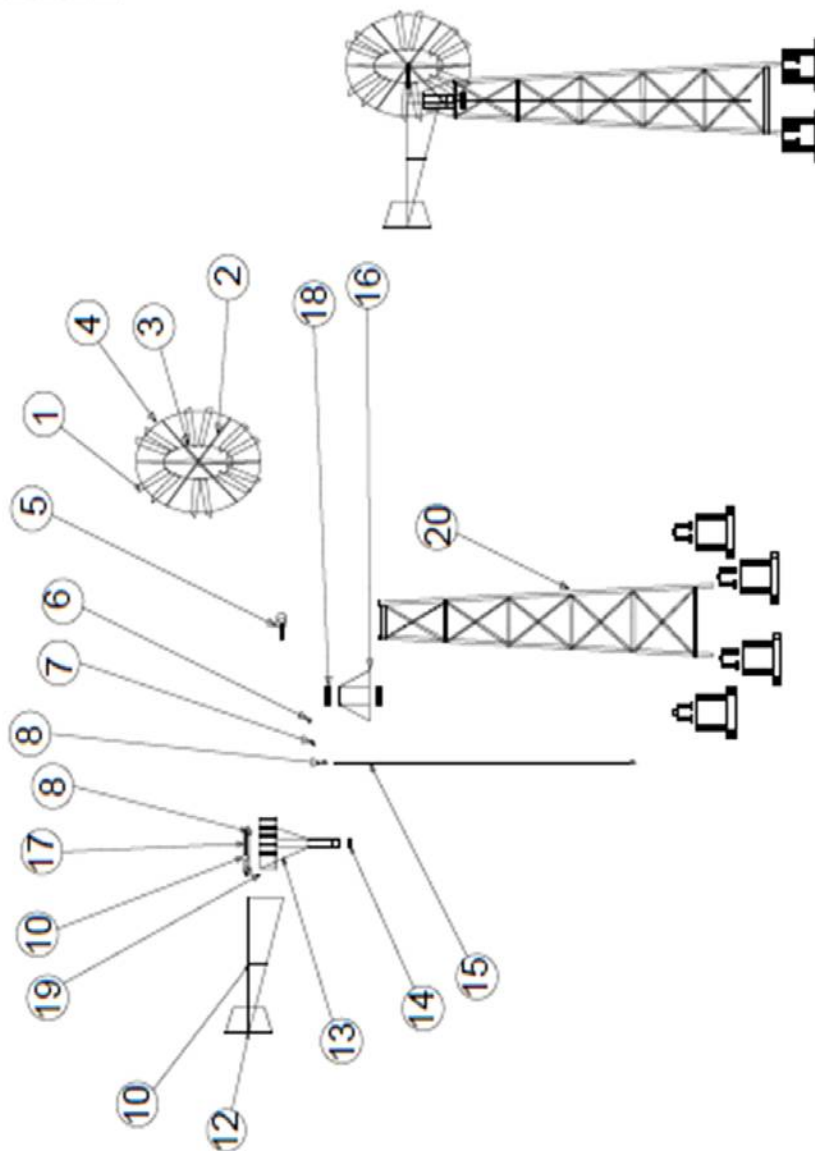
en el mediodía el aire se calienta a +25...+28°C, punto de rocío: +15,38°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de sur con velocidad de 4-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

en la tarde la temperatura del aire disminuye a +22...+25°C, punto de rocío: +14,19°C; la relación entre la temperatura, el viento y la humedad relativa, sensación térmica de aire: Agradable; no se esperan precipitaciones, el viento Ventolina sopla de este con velocidad de 4-7 kmh, pequeñas nubes en el cielo

la longitud del día 12:27

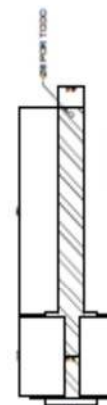
PLANOS

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA CONVERSOR DE ENERGÍA	
velocidad para entrar a trabajar al sistema	• 3.5 m/s
caudal requerido (Qr)	• 1.575 m ³ /h, tiempo de riego 3.42 horas al día.
potencia útil	• 175.3 W, diámetro del rotor • 2.5m, Área de bando • 4.9m
fuerza necesaria para funcionamiento del sistema hidráulico, Friele • 3448.4 N	
bomba de pistón, de diámetro de 3 pulgadas y una altura de bombeo de 21 m	



Numero	descripción	Materiales	cantidad
20	bases para empotrar la torre	hormigon	4
21	bases para sujetar la torre	AISI1010	4
20	torre típica cónica	ASTM A36	1
19	placa base de rodamiento (A)	ASTM A36	1
18	rodamiento (B) eje transmisión	D=100,d=55	2
17	rodamiento (A) eje de rotor	D=82,d=40	2
16	soporte de tornaviesa	ASTM A36,AISI1010	1
15	eje de transmisión	AISI1020	1
14	anillo de succión	ASTM A36	1
13	tornaviesa	ASTM A36	1
12	placa guía	ASTM A36	1
11	vela	ASTM A36	1
10	soporte de rodamiento	ASTM A36	2
9	tapa de rodamiento	ASTM A36	1
8	componente biela 2	AISI1020	1
7	componente biela 1	AISI1020	1
6	manivela	ASTM A36	1
5	eje del rotor	AISI1010	1
4	disco 2	ASTM A36	1
3	disco 1	ASTM A36	1
DES3	arco	ASTM A36	6
1	aisbe	Acero galvanizado al zinc	12

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLÓ											
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA											
PROYECTO DE TEGIO											
<table border="1"> <tr> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> </tr> <tr> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> </tr> </table>				FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA
FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA								
FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA								
<table border="1"> <tr> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> </tr> <tr> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> </tr> </table>		FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	<table border="1"> <tr> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> </tr> <tr> <td>FECHA DE ENTREGA</td> <td>FECHA DE ENTREGA</td> </tr> </table>		FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA
FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA										
FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA										
FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA										
FECHA DE ENTREGA	FECHA DE ENTREGA										
01											

[illegible][illegible]

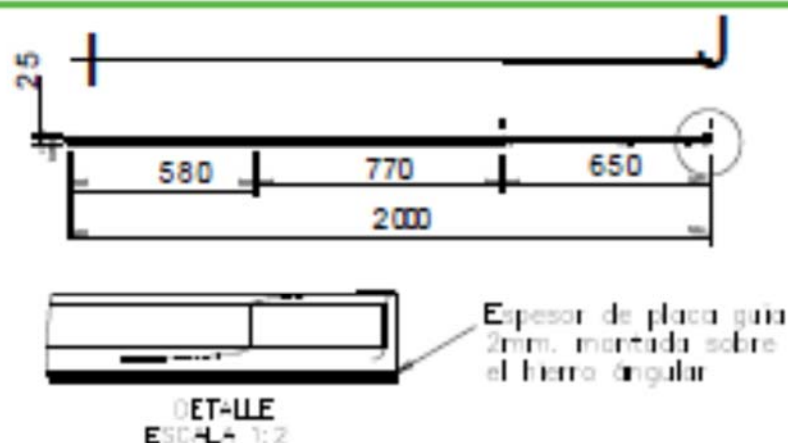
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

PROYECTO DE TESIS

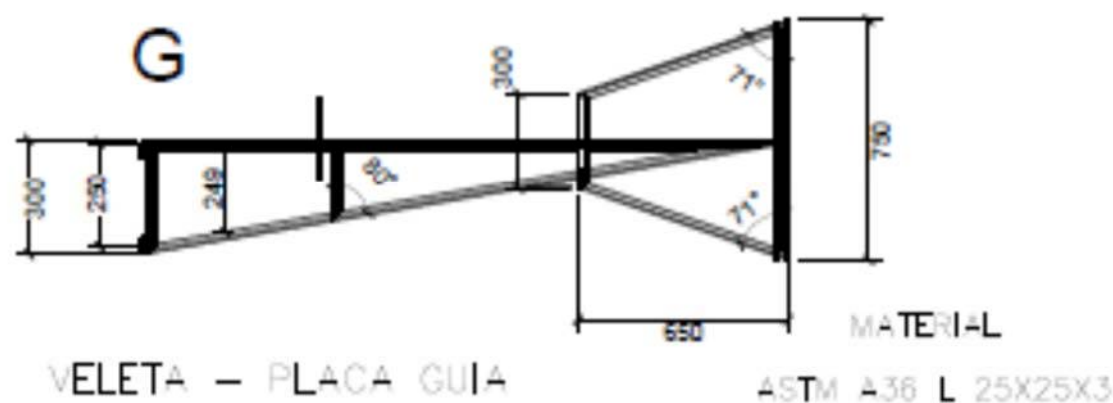
DISEÑO DE UNA AEROSOLMIA PARA RIEGO TECNIFICADO CON ENERGÍA SOLICO
 PARA EL SEMBRIO DE PAPAYA EN LA LOCALIDAD DE
 ACERILLO-SAGUA-AMAZONAS

BACK: JIM SAVID BARONIS, CHIEF	DFTO: AMAZONIAN PRON: BANGLA CEST: BANGLA
--------------------------------	-------------------------------------------------

03



Nota: Todas las juntas están soldadas con este proceso de soldadura.



Tolerancia: ± 1
Peso: 15.3 kg

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

PROYECTO DE TESIS

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA ARRANCADORA PARA MOTOR TRIFASICO CON INGENIERIA BOLICA PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA EN LA LOCALIDAD DE ACERILLO - BAJA - AMAZONAS

ALUMNO: JOSE LUIS GARCIA GARCIA

ASIGNATURA: OPTO-AMAZONAS
PROV: BAJA
DET: BAJA

FECHA:

05

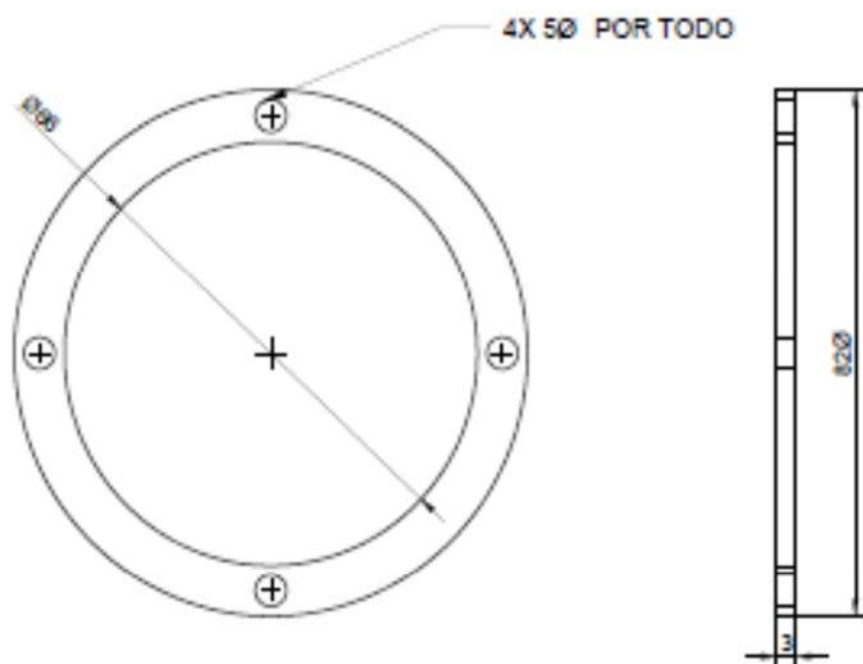
FECHA:

FECHA:

FECHA:

FECHA:

FECHA:



MATERIAL:
 ASTM A36 Plancha e=3
Tapa de Rodamientos
 N° 11
 (Sustitución)



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

PROYECTO DE TESIS

PROYECTO:

DISÑO DE UNA ARROZONIA PARA REGO TECNIFICADO CON ENERGIA SOLAR
 PARA EL SEMBRIO DE PAPAYA EN LA LOCALIDAD DE ACRILLO - BAGUA - AMAZONAS

ALUMNO

BACH. JOSE DAVID SARDUYA CHIRO

UBICACION

DPTO: AMAZONAS
 PROV: BAGUA
 DIST: BAGUA

LIBRO

06

FECHA

INDICADA

FECHA

ENERO 2018

